

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2020

Vojtěch Mrázek



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY  
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

STUDIE NÁVRHU PŘÍRODĚ BLÍZKÝCH  
PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ V POVODÍ  
THE DESIGN STUDY OF NATURE-FRIENDLY EROSION CONTROL MEASURES  
IN THE BASIN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Vojtěch Mrázek

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV DUMBROVSKÝ,  
CSc.

BRNO 2020



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Vojtěch Mrázek
<b>Název</b>	Studie návrhu přírodně blízkých protierozních opatření v povodí
<b>Vedoucí práce</b>	prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2019
<b>Datum odevzdání</b>	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

---

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

1. Holý M, a kol - Eroze a životní prostředí, ČVUT Praha 1998
2. Janeček, M. a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika. Praha: ČZU 2012, ISBN 978-80-87415-42-9
3. Morgan, R.P.C. Soil Erosion and Conservation. Third Edition. Oxford: Blackwell Publishing. 2005, 304 p. ISBN 1-4051-1781-8.
4. Hrádek F, - Implementace hydrologického modelu DeSQ, ČZU Praha 1997

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

S využitím DMT nástrojů GIS a modelu USLE2D v určeném území analyzujte erozní poměry a transport splavenin. Na základě provedených analýz navrhnete v zadaném území systém komplexních ochranných přírodě blízkých protierozních a adaptačních opatření a vyhodnoťte jejich účinnost.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.  
Vedoucí bakalářské práce



## ABSTRAKT

Práce je zaměřena na návrh komplexních protierozních a protipovodňových přírodě blízkých opatření v KÚ Bravantice. V daném území byly analyzovány erozní a odtokové poměry. Pro výpočet odtokových poměrů v profilech kritických bodů byl použit program DesQ-MaxQ. Analýza erozních poměrů byla provedena s využitím nástrojů GIS spolu s programem USLE2D. Pro vytvoření grafických výstupů byl použit ArcGis. Na základě provedených analýz byla navržena ochranná opatření zlepšující erozní a odtokové poměry. Vyhodnocení jejich účinnosti bylo provedeno porovnáním hodnot základních charakteristik přímého odtoku a erozního smyvu před a po návrhu opatření.

## KLÍČOVÁ SLOVA

- EROZNÍ SMYV
- POVRCHOVÝ ODTOK
- GIS
- CN
- ORGANIZAČNÍ PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ
- AGROTECHNICKÁ PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ
- TECHNICKÁ PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ

## ABSTRACT

The work is focused to design of complex erosion and flood control measures close to nature in the Bravantice Regional Office. Erosion and runoff conditions were analyzed in the given area. The DesQ-MaxQ program was used to calculate the runoff ratios in the critical point profiles. The analysis of erosion conditions was performed using GIS tools together with the USLE2D program. ArcGis was used to create graphical outputs. Based on the performed analyzes, protective measures improving erosion and runoff conditions were proposed. The evaluation of their efficiency was performed by comparing the values of the basic characteristics of direct runoff and soil erosion before and after the design of measures.

## KEYWORDS

- SOIL EROSION
- RUNOFF

- GIS
- CN
- ORGANIZATIONAL EROSION CONTROL MEASURES
- AGROTECHNOLOGICAL EROSION CONTROL MEASURES
- TECHNICAL EROSION CONTROL MEASURES

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Vojtěch Mrázek *Studie návrhu přírodě blízkých protierozních opatření v povodí*. Brno, 2020. !!XX!! s., !!YY!! s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Studie návrhu přírodě blízkých protierozních opatření v povodí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 3. 2020

---

Vojtěch Mrázek  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Studie návrhu přírodě blízkých protierozních opatření v povodí* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 3. 2020

---

Vojtěch Mrázek  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. M. Dumbrovskému CSc za odborný dozor a poskytnutí informací.

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Identifikační údaje.....</b>	<b>11</b>
<b>3. Literární řešerše .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. Teorie erozního smyvu.....</b>	<b>12</b>
3.1.1. Rozbití částic kapkou .....	12
3.1.2. Transport deštěm .....	12
3.1.3. Uvolnění částic povrchovým odtokem.....	12
3.1.4. Transport částic povrchovým odtokem .....	13
<b>3.2. Teorie povrchového odtoku .....</b>	<b>13</b>
3.2.1. Plošný povrchový odtok.....	13
3.2.2. Soustředěný povrchový odtok .....	15
<b>3.3. Hydrologický model DesQ – MaxQ .....</b>	<b>15</b>
<b>3.4. GIS – Geografické informační systémy .....</b>	<b>16</b>
<b>4. Analýza území .....</b>	<b>17</b>
4.1. Hydrologické poměry.....	17
4.2. Klimatické poměry.....	19
4.3. Hydopedologické poměry .....	20
4.4. Rozbor půd podle map BPEJ .....	20
4.5. Geomorfologické poměry .....	24
4.6. Geologické poměry.....	24
4.7. Vegetační poměry.....	24
<b>5. Rozbor erozních poměrů před PEO .....</b>	<b>26</b>
<b>5.1. Popis stanovení erozního smyvu na základu DMT gridu .....</b>	<b>26</b>
5.1.1. Wischmeier-Smithova rovnice .....	26
5.1.2. Faktor erozní účinnosti deště $R$ .....	27
5.1.3. Faktor náchylnost půdy k erozi $K$ .....	28
5.1.4. Topografický faktor – součin faktorů $LS$ .....	29
5.1.5. Faktor ochranného vlivu vegetace $C$ .....	31
5.1.6. Faktor vlivu protierozního opatření $P$ .....	32
<b>5.2. Výsledek rozboru stávajících erozních poměrů .....</b>	<b>32</b>
<b>6. Rozbor stávajících odtokových poměrů .....</b>	<b>33</b>
6.1. Metoda čísel odtokových křivek $CN$ .....	33
6.2. Výsledky rozboru stávajících odtokových poměrů.....	35
<b>7. Návrh protierozních a protipovodňových opatření .....</b>	<b>41</b>

<b>7.1. Organizační protierozní opatření.....</b>	<b>41</b>
7.1.1. Definice druhu pozemků a ochranné zatravnění.....	41
7.1.2. Protierozní rozmísťování plodin.....	42
7.1.3. Pásové střídání plodin.....	42
<b>7.2. Agrotechnická protierozní opatření.....</b>	<b>44</b>
<b>7.3. Technická protierozní opatření.....</b>	<b>46</b>
7.3.1. Zatravněné dráhy soustředěného odtoku .....	46
7.3.2. Průlehy.....	47
<b>8. Vyhodnocení účinnosti opatření.....</b>	<b>50</b>
<b>9. Závěr .....</b>	<b>55</b>
<b>10. Seznam použité literatury .....</b>	<b>56</b>
<b>11. Seznam obrázků, tabulek a grafů.....</b>	<b>57</b>

# 1. ÚVOD

Půda je důležitý faktor pro vše živé na Zemi. Mnohým organismům poskytuje domov a ještě více poskytuje potravu, proto by se měla chránit a zabránit jejímu znehodnocení. Půda je vystavena mnohým klimatickým jevům jako jsou déšť, sníh, vítr či vysychání pod paprsky Slunce nebo ziskuchtivé drásání povrchu půdy zemědělci. Lidé bez rozmyslu zacházejí s půdou, expandují i na kvalitní půdy, zkrátka půda se stala předmětem obchodu, ale už klesá zájem se o ni starat a zkulturovat ji.

V bakalářské práci se budu věnovat zlepšení ochrany proti povodním (tzn. bezpečné převedení povrchového odtoku) a zvýšení územní ochrany proti vodní erozi postupným návrhem opatření organizačních, agrotechnických a technických, které budou přírodě blízké a nijak vážně zasahovat do krajiny. Dává se důraz na ochranu intravilánu a kvalitu půdy samotné. Protože samotné přívalové deště jsou velice nebezpečné jak z hlediska ekonomického tak ekologického, odnos půdních částic způsobuje samotné ohrožení majetku nebo nižší zemědělský výnos. K analýze erozních a odtokových poměrů, tak pro návrh opatření budou využity výpočetní programy a hydrologické nástroje ArcGIS a pro výpočet průtoků DesQ-MaxQ

## 2. Identifikační údaje

Zájmové území se nachází 10 km severovýchodně od města Ostrava a asi 18 km jihozápadně od města Nový Jičín [obr.1)]. Lokalitou protéká potok Sezina, která spadá pod povodí Odry.

Číslo zájmového povodí: 2-01-01-120, 2-01-01-121, 2-01-01-122, 2-01-01-159/2, 2-01-01-153/1

Katastrální území: Bravantice

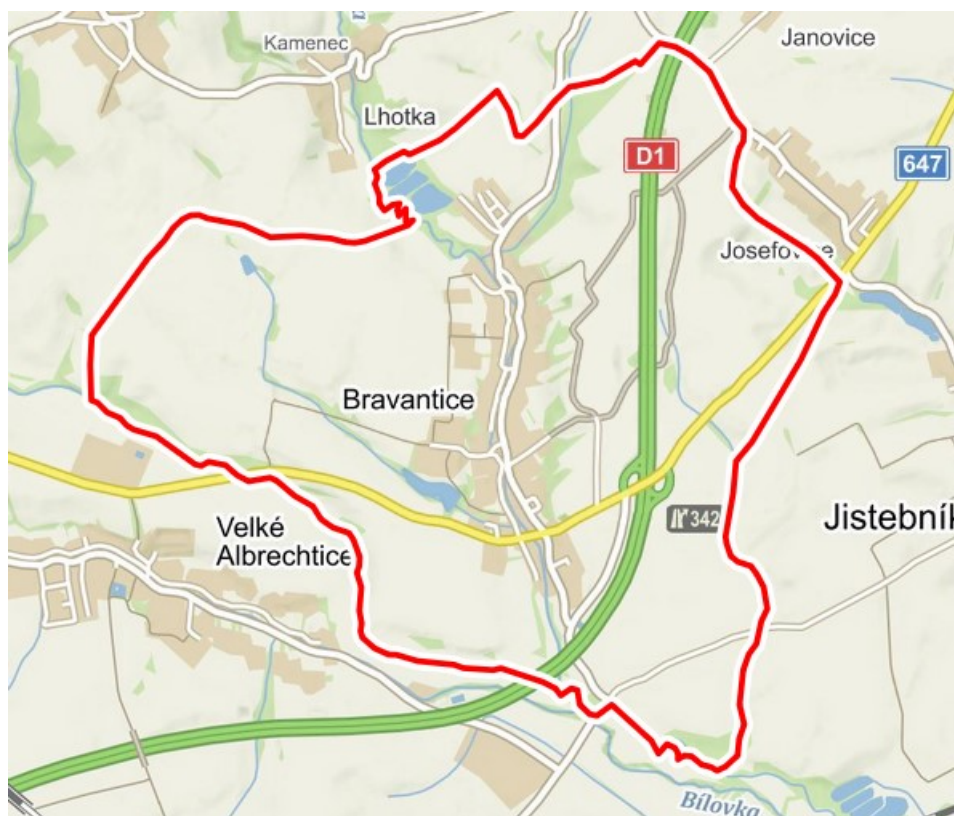
Číslo katastrálního území: 609731

Okres: Nový Jičín

Kraj: Moravskoslezský kraj

Průměrná nadmořská výška: 243 m n.m.

Rozloha zájmového území: 1134 ha



Obr. 1) *Situace řešeného území*

### 3. Literární řešerše

#### 3.1. Teorie erozního smyvu

Erozním smyvem nazýváme jev, který se projevuje na povrchu půdy rozrušováním půdních částic a tvorbou privilegovaných odtokových drah. Projevy jsou vyvolány kinetickou energií dešťových kapek jejího odtoku z povrchu [1]. Tak dochází k přemístění půdních částic do níže položených míst, kde se usazují. V dnešní době je hlavním viníkem nevhodné hospodaření s půdou a rušením přírodních překážek v krajině v důsledku působení lidské činnosti. [2]

Vznik eroze můžeme rozdělit do 4 fází:

##### 3.1.1. Rozbití částic kapkou

$$D_r = S_{dr} \times A_i \times i^2 \quad (3.1.1.-1)$$

Kde:	$D_r$	množství uvolněných půdních částic	[kg/m <sup>2</sup> .min]
	$S_{dr}$	součinitel odvozený od půdních vlastností	[-]
	$A_i$	plocha	[m <sup>2</sup> ]
	$i$	intenzita deště	[mm/min] [2]

##### 3.1.2. Transport deštěm

$$T_r = S_{tr} \times I \times i^2 \quad (3.1.2.-1)$$

Kde:	$T_r$	množství částic transportovaným deštěm	[kg/m <sup>2</sup> .min]
	$S_{tr}$	součinitel odvozený od půdních vlastností	[-]
	$I$	sklon svahu	[%]
	$i$	intenzita deště	[mm/min] [2]

##### 3.1.3. Uvolnění částic povrchovým odtokem

$$D_f = S_{df} \times A_i \times q^{2/3} \times I^{2/3} \quad (3.1.3.-1)$$



Kde:	$D_f$	množství částic transportovaným deštěm	$[\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}]$
	$S_{df}$	součinitel odvozený od půdních vlastností	$[-]$
	$A_i$	plocha	$[\text{m}^2]$
	$q$	povrchový odtok	$[\text{m}^3/\text{s}]$
	$I$	sklon svahu	$[\%][2]$

### 3.1.4. Transport částic povrchovým odtokem

$$T_f = S_{tf} \times q^{2/3} \times I^{2/3} \quad (3.1.4.-1)$$

Kde:	$T_f$	množství částic transportovaným deštěm	$[\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}]$
	$S_{tf}$	součinitel odvozený od půdních vlastností	$[-]$
	$q$	povrchový odtok	$[\text{m}^3/\text{s}]$
	$I$	sklon svahu	$[\%][2]$

## 3.2. Teorie povrchového odtoku

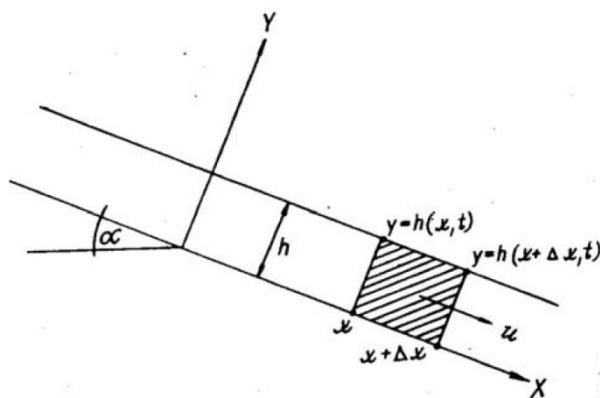
K povrchovému odtoku dochází tehdy, když déšť vyčerpá akumulaci schopnosti povrchu a zároveň infiltrace srážkové vody je nižší než intenzita srážky. Při povrchu s náklonem se voda pohybuje ve sklonu povrchu. [2]

U rovného nebo rovnoměrně porostlém povrchu dochází k plošnému odtoku, který se projevuje až po několika metrech jako plošný odtok. Vlivem přírodních nerovností povrchu přechází postupně v odtok soustředěný. Stanovení povrchového odtoku s ohledem na množství faktorů, které ho ovlivňují, není jednoduché. [2]

### 3.2.1. Plošný povrchový odtok

Stékající voda funguje dle fyzikálních zákonů zachování hmoty a hybnosti, díky tomu můžeme aplikovat rovnice kontinuity (3.2.1.-1) a pohybové rovnice k popsání tohoto jevu. [2]

Plošný povrchový odtok, který probíhá v tenké souvislé vrstvě, lze vyjádřit v kartézské souřadnicové soustavě. [2]



Obr. 2) Schéma plošného povrchového odtoku po svahu

$$\frac{h\partial\bar{u}}{\partial x}(x,t) + \frac{\partial h}{\partial t}(x,t) = r(t) - i(t) \quad (3.2.1.-1)$$

Kde:	x	osa souřadnice ve směru odtoku	[-]
	y	osa souřadnice kolmo ke směru odtoku	[-]
	h	výška povrchového odtoku	[m]
	t	čas	[s]
	$\bar{u}$	průřezová rychlost povrchového odtoku ve směru x	[m/s]
	r(t)	intenzita srážky na jednotkovou plochu povrchu	[m/s]
	i(t)	intenzita vsaku na jednotkovou plochu povrchu	[m/s] [2]

Úpravami pohybové rovnice a rovnice kontinuity dostaneme tzv. rovnici kinematické vlny, která je dnes užívaná různými výpočetními software ke stanovení plošného odtoku.

$$abh^{b-1}\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = r - i \quad (3.2.1.-2)$$

Kde:	x	osa souřadnice ve směru odtoku	[-]
	y	osa souřadnice kolmo ke směru odtoku	[-]
	h	výška povrchového odtoku	[m]
	t	čas	[s]

a, b	součinitelé	[-]
r	intenzita srážky na jednotkovou plochu povrchu	[m/s]
i	intenzita vsaku na jednotkovou plochu povrchu	[m/s] [2]

### 3.2.2. Soustředěný povrchový odtok

Působením rozdílnosti povrchu vzniká transformace plošného odtoku z povodí do jedné dráhy tzv. soustředěného povrchového odtoku a dochází ke změně charakteru odtoku. Tento případ je řešen podobným způsobem jako u plošného odtoku.[2] Podobnými úpravami, jako u plošného odtoku, můžeme dostat rovnici kinematické vlny, ale pro odtok soustředěný. (3.2.2. -1).

$$abS^{b-1} \frac{\partial S}{\partial s} + \frac{\partial S}{\partial t} = q' \quad (3.2.2. -1)$$

Kde:

t	čas	[s]
a, b	součinitelé	[-]
r	intenzita srážky na jednotkovou plochu povrchu	[m/s]
q	povrchový odtok	[m <sup>3</sup> /s]
S	průřezová plocha koryta	[m <sup>2</sup> ] [2]

### 3.3. Hydrologický model DesQ – MaxQ

V roce 1997 vytvořil prof. Ing. František Hrádek, DrSc. hydrologický model DesQ, ve spolupráci s firmou Aqualogic, Software Development and Consulting Praha vznikla první programová dokumentace modelu. Na základě dalších výzkumů se model DesQ aktualizoval a nese název DesQ – MaxQ. Zkratka byla odvozená z dvojího předpokladu: DesQ znamená návrhový průtok (znalost hydrologický a hydraulických vlastností u svahového odtoku), MaxQ potom maximální průtok v údolnici. [3]

Hydrologicko-hydraulické závislosti byly odvozeny na idealizované ploše, což je plocha odtokového svahu s homogenním a nepropustným povrchem. Hydraulické řešení má základy z modelu kinematické vlny. Model je určen pro povodí tvaru otevřené knihy do velikosti plochy 10 km<sup>2</sup>. [3]

Model můžeme používat na:

- výpočet maximálních N-letých (návrhových) průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných přívalovými dešti kritické doby trvání
- výpočet maximálních průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných dešti zadané doby trvání a intenzity
- odvození tvaru povodňových vln (časové řady)
- hodnocení dopadů hospodářské činnosti v povodí (land-use) na srážko-odtokové procesy [3]

### 3.4. GIS – Geografické informační systémy

Historie technologie GIS mají počátky v oborech, kde bylo potřeba zpracovávat velké kvanta informací vztahených ke geografické poloze na povrchu Země. První aplikace byly ve správě krajiny v Americe (evidence lesů) a pro účely sčítání lidu (USA Census Bureau). [4]

Historický vývoj můžeme rozdělit do čtyř základních etap:

- První – živelný vývoj daný vlivem významných osobností vědy a státní správy
- Druhý – sjednocení záměrů lokálních výzkumných center s centrální správou
- Třetí – vnesení komerčního záměru
- Čtvrtý – orientace na uživatele, snaha o jednotnou úpravu a propojitelnost [4]

Geografické informační systémy jsou systémy pro správu, analýzu a zobrazování geografických informací. Geografické informace jsou reprezentovány sadami geografických dat, které modelují realitu pomocí jednoduchých obecných datových struktur. GIS obsahuje kompletní sadu nástrojů pro práci s geografickými daty a je to druh databáze o území. [5]

Jednotlivé datové sady jsou organizovány do homogenních vrstev (např. parcely, ortofoto snímky nebo rastrová data). [5] Zpracování prostorových dat, geoprocessing, je souhrn nástrojů a procesů pro vytváření odvozených datových sad. Geoprocessing se používá k modelování toků dat a změn jejich struktury během zpracování nebo ke kontrole kvality importovaných dat. [5]

V geologických informačních systémech používáme k určení polohy dat souřadný systém. Používá se pár různých souřadných systémů (např.: S-JSTK, S-42, WGS-84), proto musíme věnovat pozornost tomu, v jakém souřadném systému jsou jednotlivá data. [5]

## 4. Analýza území

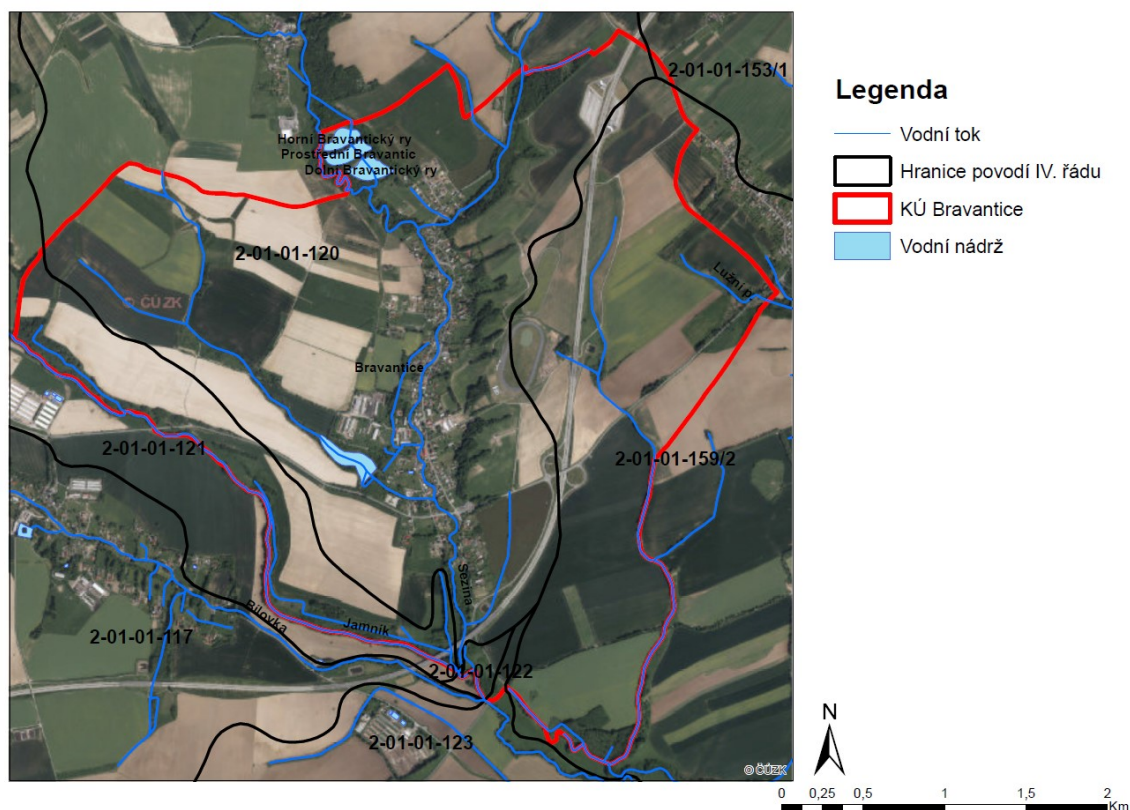
Řešené území je velmi ohroženo vodní erozí, a proto musíme navrhnout protierozní opatření. Probíhá zanášení retenční nádrže a velký erozní smyv ohrožující intravilán.

### 4.1. Hydrologické poměry

Analyzované území se nachází na rozmezí několika povodí IV. řádu s čísly hydrologického pořadí 2-01-01-120, 2-01-01-121, 2-01-01-122, 2-01-01-159/2, 2-01-01-153/1. Zájmovým územím protéká potok nesoucí název Sezina s celkovou délkou 20,2 km, na území Bravantice má 3,894 km. Pramení v obci západně od obce Pustá Polom a následně protéká obcemi Kyjovice, Olbramice, Lhotka a pak do Bravantice. První přítok je potok Setina, který se vlévá u Kyjovic. V místě, kde opouští zájmové území má pravostranný přítok potoku Jamník. Sezina se dále vlévá do řeky Bílovky.

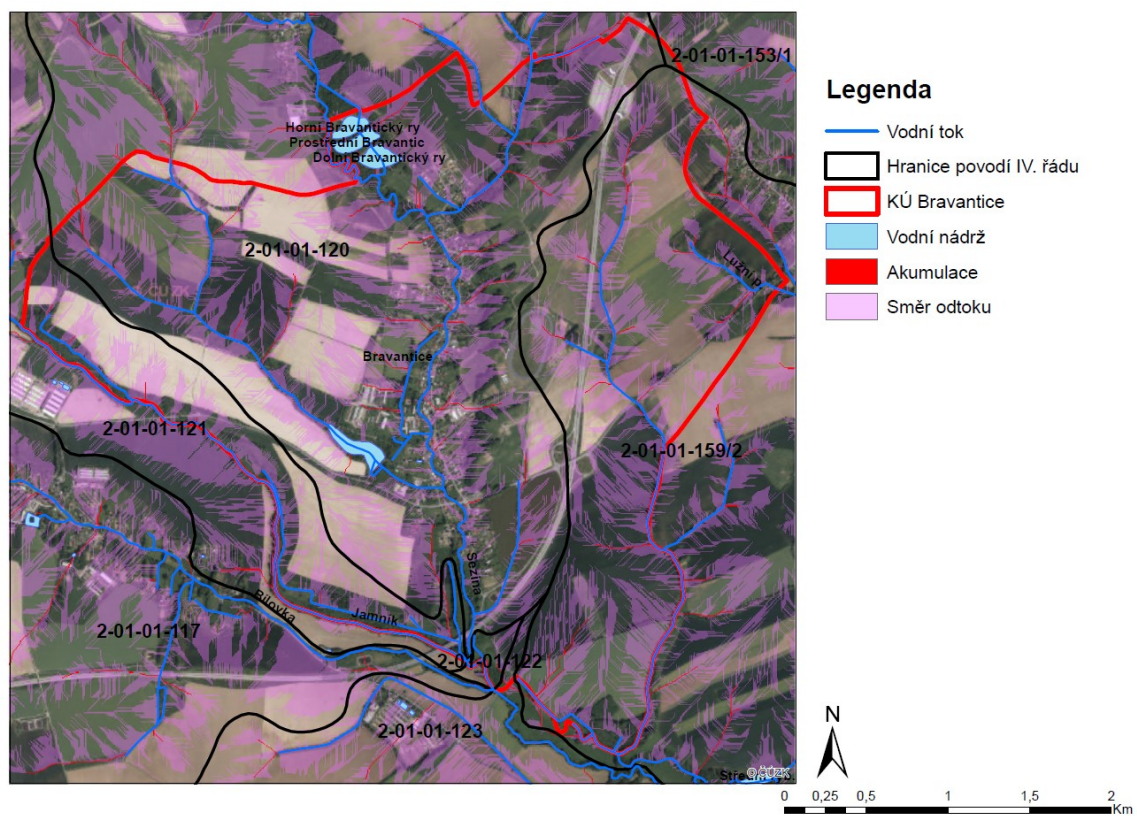
Průměrný průtok činí  $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$

Správce toku je Povodí Odry státní podnik.



Obr. 3) Vymezení řešeného území












Obr. 4) Rozbor odtokových poměrů



Obr. 5) Koryto potoku Sezina

Stanice <b>KS Bravantice</b>		Tok <b>Sezina</b>				
Povodně						
	1. stupeň povodňové aktivity	90 [cm]				
	2. stupeň povodňové aktivity	110 [cm]				
	3. stupeň povodňové aktivity	130 [cm]				
	3. stupeň povodňové aktivity  extrémní povodeň) (Q50)	149 [cm]				
Poznámka						
nízké průtoky						
	Q355:	0,015 [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]				
N-leté průtoky [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]						
Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
6,230	10,50	16,60	21,40	24,10	33,10	38,40
Historické povodně (3 nejvyšší zaznamenané po dobu pozorování)						
—	— [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]		N ~			
—	— [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]		N ~			
—	— [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]		N ~			

Obr. 6) Stavby a průtoky na vodním toku Sezina [9]

Bezejmenná přehrada o rozloze 2,8 ha se nachází v jihozápadní části obce. Jedná se o průtočný typ, má sypanou hráz. Přehrada spadá do Povodí Odry.

V obci se vyskytuje taky rybníkový komplex lokalizovaný v severní části obce, který se skládá ze třech částí a to z Horního, Prostředního a Dolního Bravantického rybníka. Komplex je napájen odkloněním části průtoku z potoku Seziny a dále se do ní zase napojuje.

## 4.2. Klimatické poměry

Dle Quitta leží celý bioregion v mírně teplé oblasti MT 10. Zkoumané území leží v Pooderském bioregionu (2.4), podle biografického členění (Culek a kolektiv). Podnebí je mírně teplé až teplé, vlhké, přičemž teploty i srážky rostou směrem do nižších poloh k Ostravě. V podstatě jde o jižní výběžek Slezské nížiny silně ovlivněný blízkostí pohoří z obou stran. Niva se vyznačuje teplotními inverzemi a zvýšenou vlhkostí vzduchu. [9]

Tab. 4.2.-1: Charakteristika klimatických poměrů

Klimatické charakteristiky	MT 10
Počet letních dnů	40 - 50
Počet dnů s teplotou větší než 10°C	140 - 160
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	50 - 60
Průměrná teplota v lednu	-2 až -3
Průměrná teplota v červenci	17 - 18
Průměrná teplota v dubnu	7 - 8
Průměrná teplota v říjnu	7 - 8
Počet mrazových dnů	110 - 130

Počet ledových dnů	30 - 40
Počet dnů se srážkami 1mm a více	100 - 120
Srážkový úhrn ve vegetačním období	400 - 450
Srážkový úhrn v zimním období	200 - 250
Počet zamračených dnů	120 - 150
Počet jasných dnů	40 - 50

[10]

### 4.3. Hydropedologické poměry

Hlavním představitelem půd jsou glejové fluvizemě v různém stádiu vývoje podle pozice v nivě. Dále se zde vyskytují gleje a organozemní půdy v bývalých ramenech a na zamokřených plochách. [9]

### 4.4. Rozbor půd podle map BPEJ

Každé území je popsáno pomocí pětimístního kódu bonitované půdně ekologické jednotky (BPEJ). Ten nám říká, jaké jsou v oblasti pedologické a hydropedologické poměry. Druhá a třetí číslice definuje hlavní půdní jednotku (HPJ). HPJ je definována jako syntetická agronomizovaná jednotka charakterizovaná účelovým (agronomickým) seskupením genetických půdních typů, subtypů, půdotvorných substrátů, zrnitosti, hloubky půdy, typem a stupněm hydromorfizmu a reliéfem území. [6] Zastoupení HPJ v území nám udává Tab. 4.4. – 1. Největší zastoupení mají hnědozemě luvické, luvizemě oglejené na sprašových hlínách (prachovicích), pseudogleje modální, pseudogleje luvické. [6]

#### Charakteristika hlavních půdních jednotek (HPJ) zastoupených ve zkoumaném území KÚ Bravantice:

Tab. 4.4.-1: Charakteristika HPJ

<b>HPJ 14</b>	Luvizemě modální, hnědozemě luvické včetně slabě oglejených na sprašových hlínách (prachovicích) nebo svahových (polygenetických) hlínách s výraznou eolickou příměsí, středně těžké s těžkou spodinou, s příznivými vláhovými poměry
<b>HPJ 24</b>	Kambizemě modální eubazické až mezobazické i kambizemě pelické z přemístěných svahovin karbonátosilikátových hornin flyše a kulmských břidlic, středně těžké až těžké, až středně skeletovité, se střední vododržností
<b>HPJ 42</b>	Hnědozemě oglejené na sprašových hlínách (prachovicích), spraších, středně těžké, bez skeletu, se sklonem k dočasnému převlhčení
<b>HPJ 43</b>	Hnědozemě luvické, luvizemě oglejené na sprašových hlínách (prachovicích), středně těžké, ve spodině i těžší, bez skeletu nebo jen s příměsí, se sklonem k převlhčení
<b>HPJ 44</b>	Pseudogleje modální, pseudogleje luvické, na sprašových hlínách (prachovicích), středně těžké, těžší ve spodině, bez skeletu nebo s příměsí, se sklonem k dočasnému zamokření

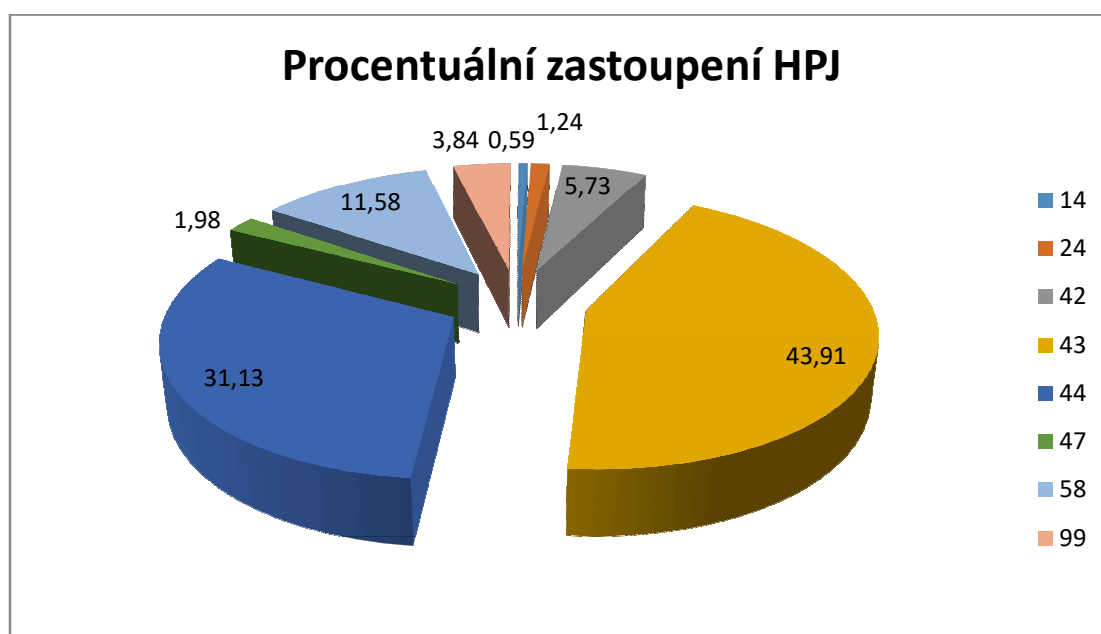


- HPJ 47** Pseudogleje modální, pseudogleje luvické, kambizemě oglejené na svahových (polygenetických) hlínách, středně těžké, ve spodině těžší až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření
- HPJ 58** Fluvizemě glejové na nivních uloženinách, popřípadě s podloží teras, středně těžké nebo středně těžké lehčí, pouze slabě skeletovité, hladina vody níže 1 m, vláhové poměry po odvodnění příznivé

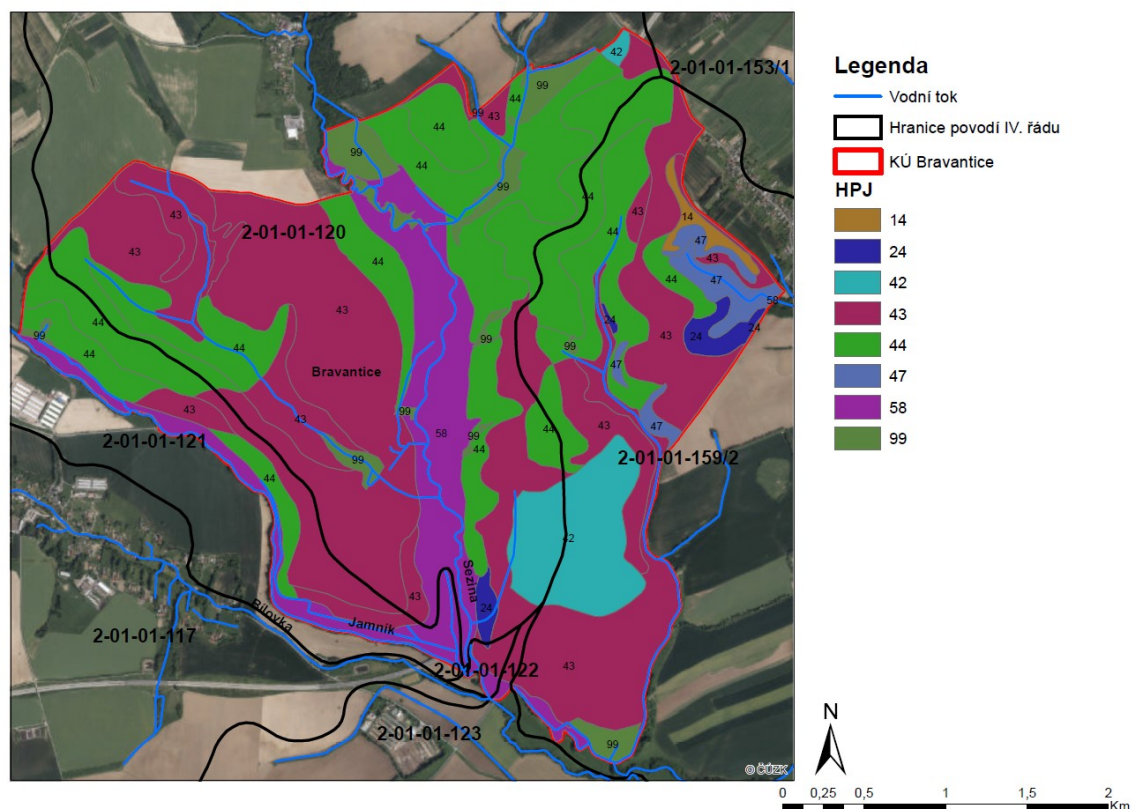
[6]

**Tab. 4.4.-2:** Procentuální zastoupení půdních jednotek

HPJ	14	24	42	43	44	47	58	99	Σ
Plocha [km <sup>2</sup> ]	0,07	0,14	0,65	4,98	3,53	0,23	1,31	0,44	11,34
Zastoupení [%]	0,59	1,24	5,73	43,91	31,13	1,98	11,58	3,84	100



Obr. 7) Procentuální zastoupení podle HPJ

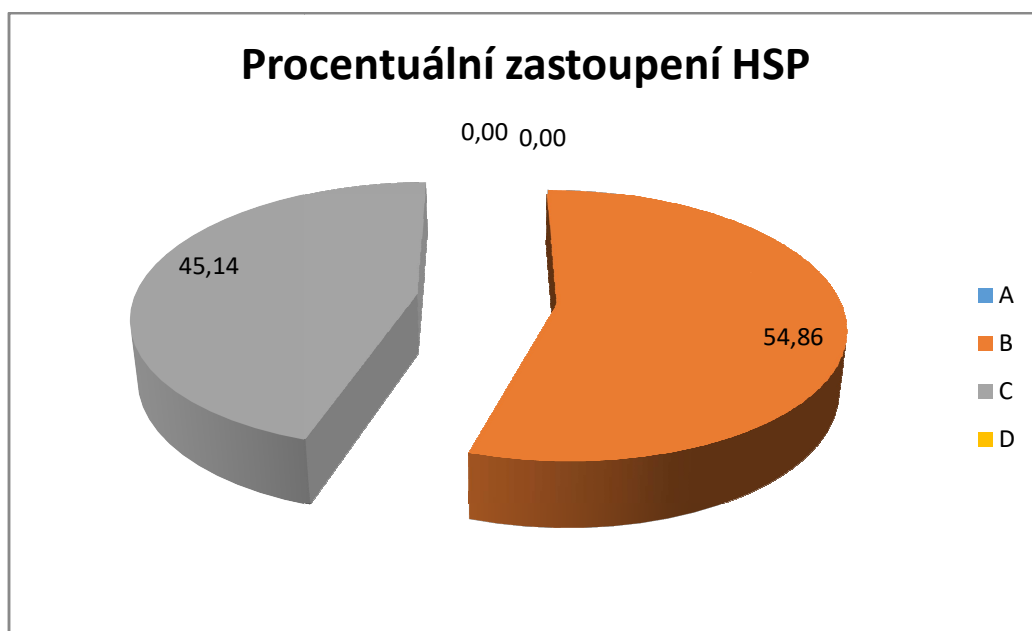


Obr. 8) Rozbor pedologických poměrů z mapy BPEJ

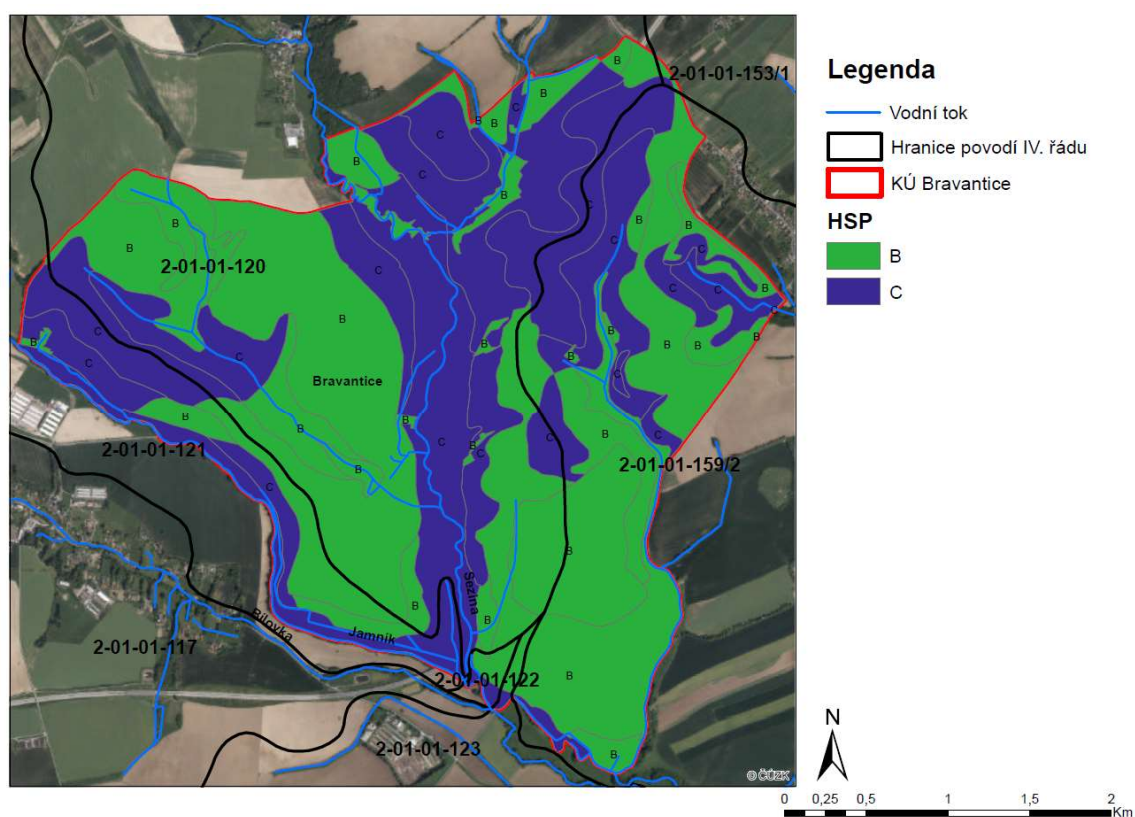
Ve zkoumaném území se nachází pouze dvě hydrologické skupiny půdy (HSP) a to třídy B a C. Třída B je charakterizovaná jako půdy se střední rychlostí infiltrace (0,06 – 0,12 mm/min) i při úplném nasycení. Zahrnují převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovohinité. Třída C jsou půdy s nízkou rychlostí infiltrace (0,02 – 0,06 mm/min) i při úplném nasycení. Zahrnují především půdy s malou propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovohlinité až jílovité. [8]

**Tab. 4.4.-3:** Procentuální zastoupení hydrologických skupin půd

HSP	A	B	C	D	Σ
Plocha [km <sup>2</sup> ]	0,00	6,16	5,07	0,00	11,22
Zastoupení [%]	0,00	54,86	45,14	0,00	100

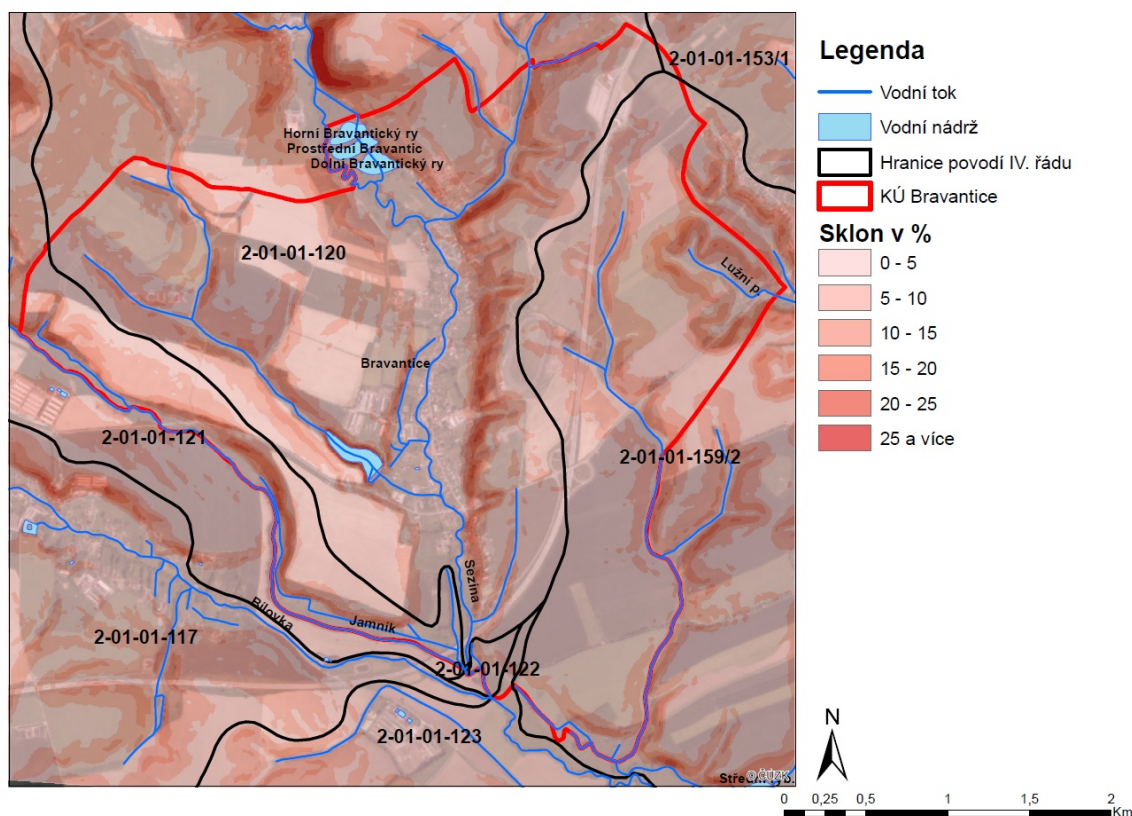


Obr. 9) Procentuální zastoupení podle HSP



Obr. 10) Rozbor hydropedologických poměrů z mapy BPEJ

#### 4.5. Geomorfologické poměry



Obr. 11) Rozbor sklonitostních poměrů

#### 4.6. Geologické poměry

Celá zkoumaná oblast patří do soustavy Český masiv – pokryvné útvary a postvariské magmatity, hlavní formování bylo v kvartéru (čtvrtohory). Široké zastoupení má sprašová hlína (křemen a příměsi), nivní sediment (hlína, písek, šterk) a smíšený sediment (sediment nezpevněný). Všechny typy hornin jsou nezpevněné a mají sedimentární původ.

#### 4.7. Vegetační poměry

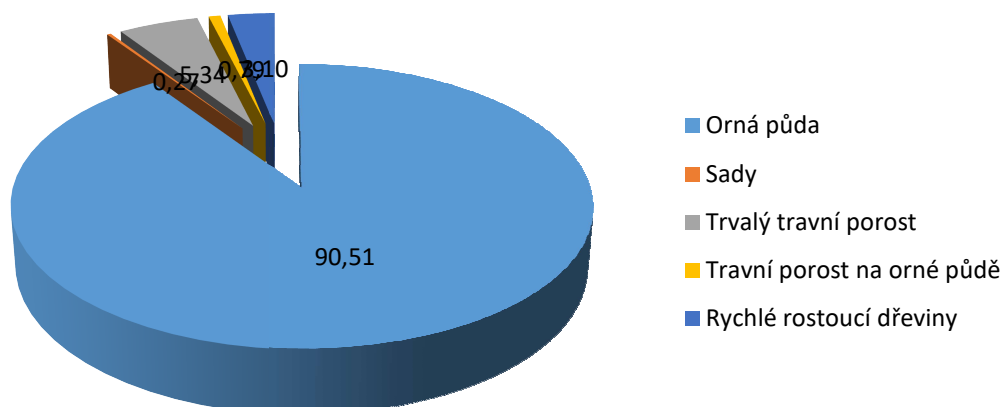
Využitelnost zájmového území je charakterizována [obr.13]] vegetačním pokryvem a to hlavně ornou půdou, sady, trvalým travním porostem a rychle rostoucími dřevinami. Vzhledem k vysokému pěstování nevhodných plodin (kukuřice, řepa cukrovka, brukev řepka olejka) jsou erozní účinky velké. Vysoké procento zastoupení těchto kultur má za následek velkou náchylnost k povodním.

Tab. 4.7.-1: Procentuální zastoupení zastoupení kultur

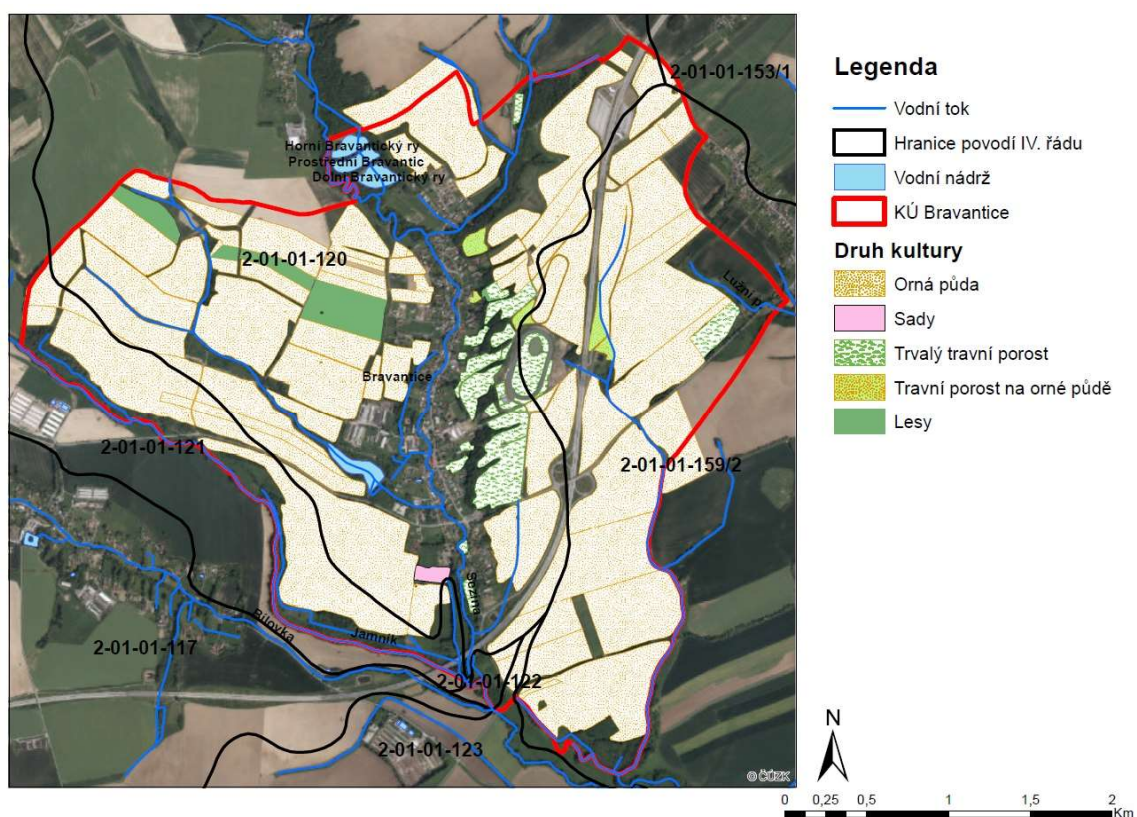
Kultura	Orná půda	Sady	Trvalý travní porost	Travní porost na orné půdě	Rychlé rostoucí dřeviny	Σ
Plocha [km <sup>2</sup> ]	6,56	0,02	0,39	0,06	0,22	7,25
Zastoupení [%]	90,51	0,27	5,34	0,79	3,10	100



## Procentuální zastoupení vegetace



Obr. 12) Procentuální zastoupení vegetace



Obr. 13) Rozbor vegetačních poměrů

## 5. Rozbor erozních poměrů před PEO

V této práci byl k rozboru použit program ArcGIS, který používá zákonitosti GIS, k rozboru erozních poměrů na základu digitálního modelu terénu (DMT). Tento program nám vytvoří ponětí o ztrátě půdy vlivem erozního smyvu a tak získat hodnotu průměrné ztráty půdy za rok. Dostaneme přehlednou mapu erozního smyvu, díky které můžeme s velkou účinností navrhnout a posoudit ochranné prvky.

### 5.1. Popis stanovení erozního smyvu na základu DMT gridu

Před samotným výpočtem erozního smyvu je nutné získat všechny potřebné mapové podklady a provést analýzu území. Erozní smyv se získá z rovnice USLE, kterou počítá aplikace USLE 2D. Tu odvodili autoři Wischmeier a Smith v roce 1987, a proto je také známá jako Wischmeier-Smithova rovnice. Tato rovnice je základem metody pro hodnocení intenzity erozního procesu na základě DMT metodou gridu. Metoda byla použita v programu ArcGIS, skrze nástroj Raster Calculator v nadstavbě Spatial Analyst. Rastrová kalkulačka umožňuje součin jednotlivých faktorů zahrnutých v rovnici. Tím vznikne mapa erozního smyvu z povodí. [12]

#### 5.1.1. Wischmeier-Smithova rovnice

$$G = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (5.1.1. -1)$$

Kde:	G	průměrná dlouhodobá ztráta půdy	[t.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> ]
	R	faktor erozní účinnosti deště	[-]
	K	faktor náchylnosti půdy k erozi	[-]
	L	faktor délky svahu	[-]
	S	faktor sklonu svahu	[-]
	C	faktor ochranného vlivu vegetace	[-]
	P	faktor vlivu protierozního opatření	[-][12]

Z rovnice vyplývá, že metoda USLE zohledňuje klimatické, vegetační, geologické, půdní a hydrologické poměry v řešeném území.

Kvalita výpočtu eroze je závislá na kvalitě vstupních dat v programu GIS. Zdrojové data jsou:

- Vrstevnice – ZABAGED
- LPIS

- BPEJ
- Hranice zájmového území

### 5.1.2. Faktor erozní účinnosti deště R

$$R = E \times i_{30}/100 \quad (5.1.2. -1)$$

Kde:	R	faktor erozní účinnosti deště	[MJ.ha/cm/h]
	E	celková kinetická energie deště	[J/m <sup>2</sup> ]
	i <sub>30</sub>	max. 30 minutová intenzita deště	[cm/h] [12]

*Celková kinetická energie deště E*

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \quad (5.1.2. -2)$$

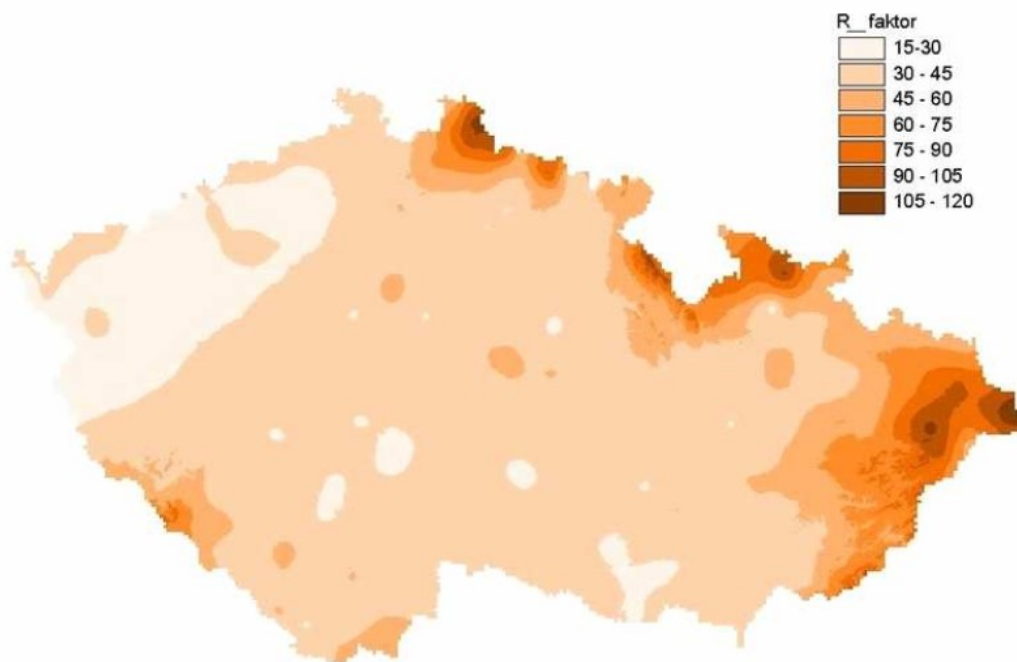
Kde:	E <sub>i</sub>	kinetická energie i-tého úseku deště	[J/m <sup>2</sup> ]
	n	počet úseků deště	[-] [12]

$$E_i = (206 + 87 \log i_{si}) \times H_{si} \quad (5.1.2. -3)$$

Kde:	i <sub>si</sub>	intenzita i-tého úseku deště	[-]
	H <sub>si</sub>	úhrn srážek v i-tém úseku deště	[cm] [12]

Hodnoty faktoru R jednotlivých dešťů se zatřizují podle četnosti jejich výskytu nebo sčítají a průměrují pro stanovení průměrné roční (měsíční) hodnoty R faktoru. Pro získání směrodatných údajů o průměrné roční hodnotě R faktoru pro jednotlivá místa je třeba zpracovat úplné údaje, nejlépe za období 50 let. [12]

Pro Českou republiku byla původně průměrná roční hodnota R faktoru 20 MJ.ha<sup>-1</sup>.cm.h<sup>-1</sup>, ale pro řešené území byla uvažována hodnota R faktoru 40 MJ.ha<sup>-1</sup>.cm.h<sup>-1</sup>, tedy dvojnásobek, oproti dříve doporučené.



Obr. 14) Průměrné hodnoty R-faktoru v  $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$  na území ČR

### 5.1.3. Faktor náchylnost půdy k erozi K

$$100K = 2,1M^{1,14} \times 10^{-4} \times (12 - a) + 3,25 \times (b - 2) + 2,5 \times (c - 3) \quad (5.1.3. -1)$$

Kde:	M	součin (%prachu+%práškového písku)x(100%jílu)	[-]
	a	% organické hmoty	[-]
	b	třída struktury ornice	[-]
	c	třída propustnosti půdního profilu	[-][12]

Faktor náchylnosti půdy k erozi K je definován jako odnos půdy v  $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$  na jednotku dešťového faktoru R ze standardního pozemku o délce 22,13 m na (na svahu o sklonu 9%), který je udržován jako kypřený černý úhor kultivací ve směru sklonu. Rovnici lze použít za podmínky, že obsah prachu a práškového písku (0,002 – 0,1 mm) nepřekročí 70%. [12]

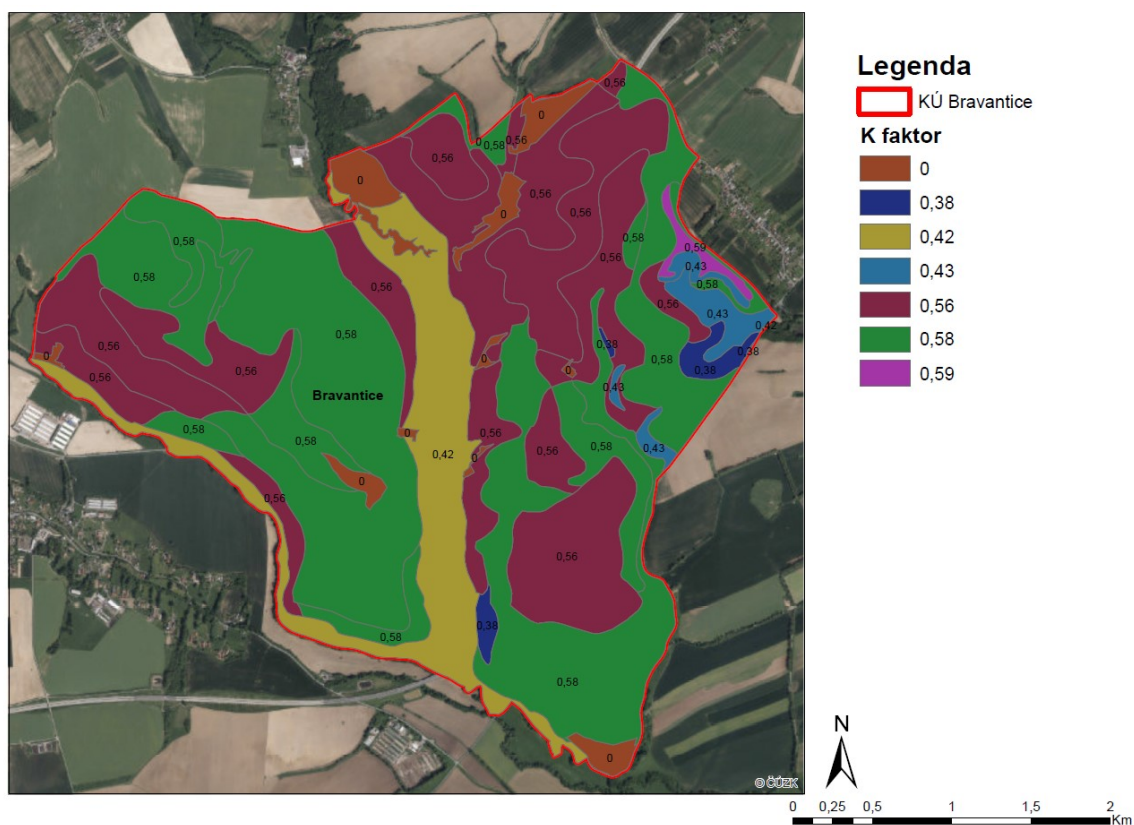
Pro stanovení průměrné dlouhodobé ztráty půdy v analyzovaném území bylo potřeba získat rastrovou vrstvu K-faktoru. Rastrová vrstva K-faktoru byla vygenerovaná na základě mapové vrstvy BPEJ. V mapě BPEJ je pro každý druh půdy vyhrazen pětimístný kód. 2. a 3. místo tohoto kódu určuje hlavní půdní jednotku (HPJ). Hodnoty K-faktoru jsou následně přiřazeny



podle HPJ (Tab. 5.1.3.-1). V případě dat pro zkoumané území obsahovala mapa BPEJ i hodnoty K-faktoru.[12]

**Tab. 5.1.3.-1:** Hodnoty faktoru K podle HPJ

HPJ	K-faktor
14	0,59
24	0,38
42	0,56
43	0,58
44	0,56
47	0,54
58	0,42
99	nedostatek dat



Obr. 15) *K-faktor před návrhem opatření*

#### 5.1.4. Topografický faktor – součin faktorů LS

Vliv sklonu a délky svahu na intenzitu eroze kombinace faktorů sklonu a délky svahu. Topografický faktor LS představuje poměr ztrát půdy na jednotku plochy svahu ke ztrátě půdy na jednotkovém pozemku o délce 22,13 se sklonem 9 %. Hodnota topografického faktoru LS pro přímé svahy se vypočítává ze vztahu[12] :

$$LS = l_d \times 0,5 \times (0,00138 + 0,0097s + 0,000138s^2) \quad (5.1.4. -1)$$

Kde:  $l_d$                       nepřerušená délka svahu                      [%]  
 $s$                               sklon svahu                              [%][12]

Samostatně lze stanovit hodnoty faktoru délky svahu výpočtem ze vztahu:

$$L = \left(\frac{l_d}{22,13}\right)^\alpha \quad (5.1.4. -2)$$

Kde:  $l_d$                       nepřerušená délka svahu                      [%]  
 $\alpha$                               exponent zahrnující vliv sklonu svahu                      [%][12]

**Tab. 5.1.4.-1:** Hodnoty exponentu zahrnující vliv sklonu svahu

Sklon [%]	5	3-5	1-3	1
$\alpha$	0,5	0,4	0,3	0,2

Hodnoty faktoru S lze vypočítat ze vztahu:

$$S = \frac{0,43+0,30s+0,043s^2}{6,613} \quad (5.1.4. -3)$$

Kde:  $s$                       sklon svahu                              [%][12]

Ztráta půdy se zvyšuje se vzrůstajícím sklonem a to mnohem více než je to u délky svahu. Přírodní svahy jsou vždy nepravidelné, a proto je určení topografického faktoru tímto způsobem nepřesné. Lze určit z: [12]

$$S = 0,03S_1 + 0,06S_2 + 0,07S_3 + 0,09S_4 + 0,10S_5 + 0,11S_6 + 0,12S_7 + 0,13S_8 + 0,14S_9 + 0,15S_{10} \quad (5.1.4. -3)$$

Kde:  $S_i$                       Hodnota S faktoru pro i-tý úsek stejné délky                      [%][12]

V současnosti je software pro automatický výpočet LS faktoru z digitálních dat GIS s využitím USLE 2D a ArcGis. [5] Je potřeba těchto dat:

- Rastrová data (grid)
  - DMT
- Vektorová data
  - Hranice zájmového území
  - Vodní toky
  - Hranice erozně uzavřených celků

Pro vyhodnocení dat v USLE 2D je potřeba data převést do formátu Idrisi. Všechna vstupní data jsem vyhodnotil v programu ArcGis a převedl do textové podoby. Poté v LS-convertoru se dala data převést do formátu Idrisi a následoval samotný výpočet v USLE 2D. Dalším krokem byla opačná konverze dat skrze textovou podobu až po finální rastrovou vrstvu LS faktoru. [5]

#### 5.1.5.      Faktor ochranného vlivu vegetace C

Vliv vegetačního pokryvu na smyv půdy se projevuje přímou ochranou povrchu půdy před ničivým působením dopadajících dešťových kapek a zpomalováním rychlosti povrchového odtoku. Vegetace nepřímo působí na půdní vlastnosti, hlavně na pórovitost a propustnost, včetně zanášení pórů jemnými půdními částicemi a mechanickým zpevněním půdy kořenovým systémem. [12]

Ochranný vliv vegetace je přímo úměrný pokryvnosti a hustotě porostu v době přívalového deště (duben až září). Proto nejlepší protierozní ochranu jsou porosty trav a jetelovin, místo běžně pěstovaných širokořádkových plodin (kukuřice, okopaniny, ovocné výsadby a vinice), které mají nedostatečnou ochranu půd. [12]

Hodnoty C faktoru byly získány z mapového podkladu registrů půdních bloků LPIS s ohledem na druh pěstované kultury a klimatický region.

**Tab. 5.1.5.-1:** Hodnoty faktoru C podle HPJ

Kultura	C-faktor
---------	----------

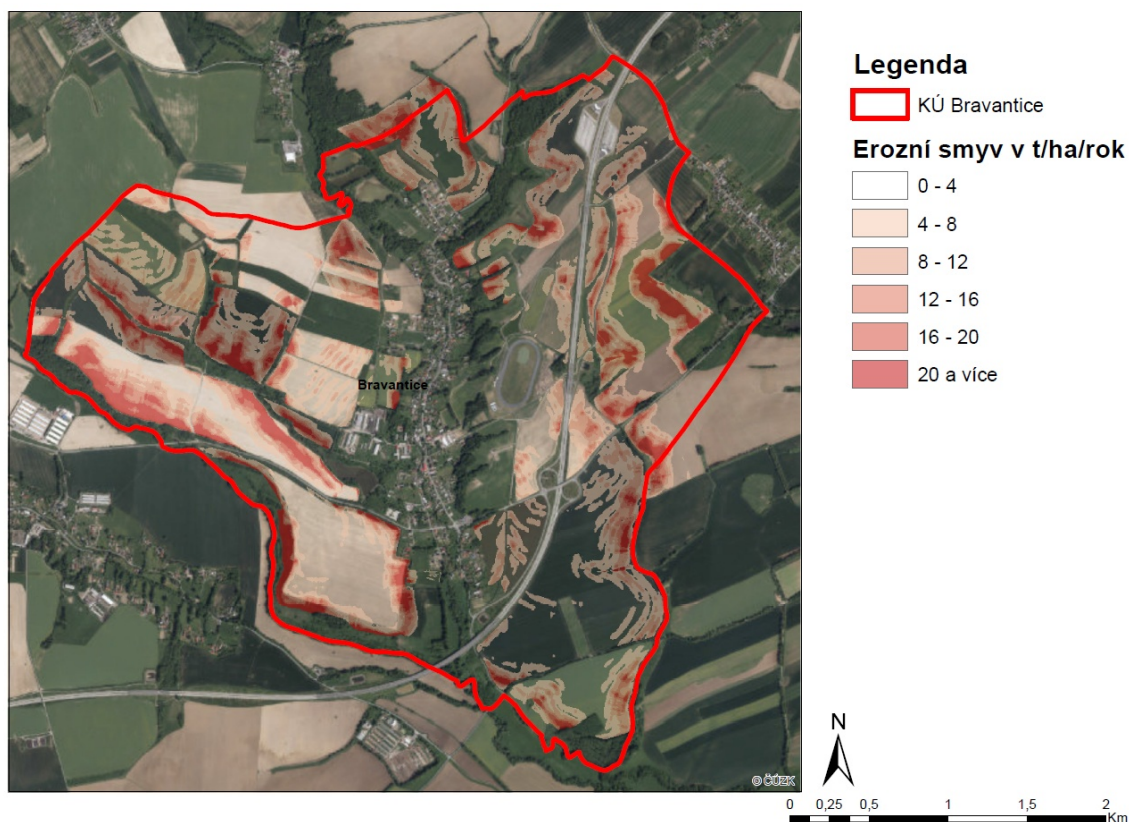
orná půda	0,216
ovocný sad	0,44
rychle rostoucí dřeviny	0,001
travní porost	0,005

#### 5.1.6. Faktor vlivu protierozního opatření P

V případě zájmového území nelze předpokládat, že byly dodrženy stanovené podmínky maximální délky a sklony a nelze určit účinnost příslušných opatření. Tudíž je za hodnotu P faktoru brána hodnota P=1. [12]

V momentu, kdy jsou připraveny všechny příslušné faktory ve formátu rastru, se stanoví, s využitím Raster Calculatoru a principu Wischmeier-Smithovy rovnice, dlouhodobá ztráta půdy ve formě mapy erozního smyvu.

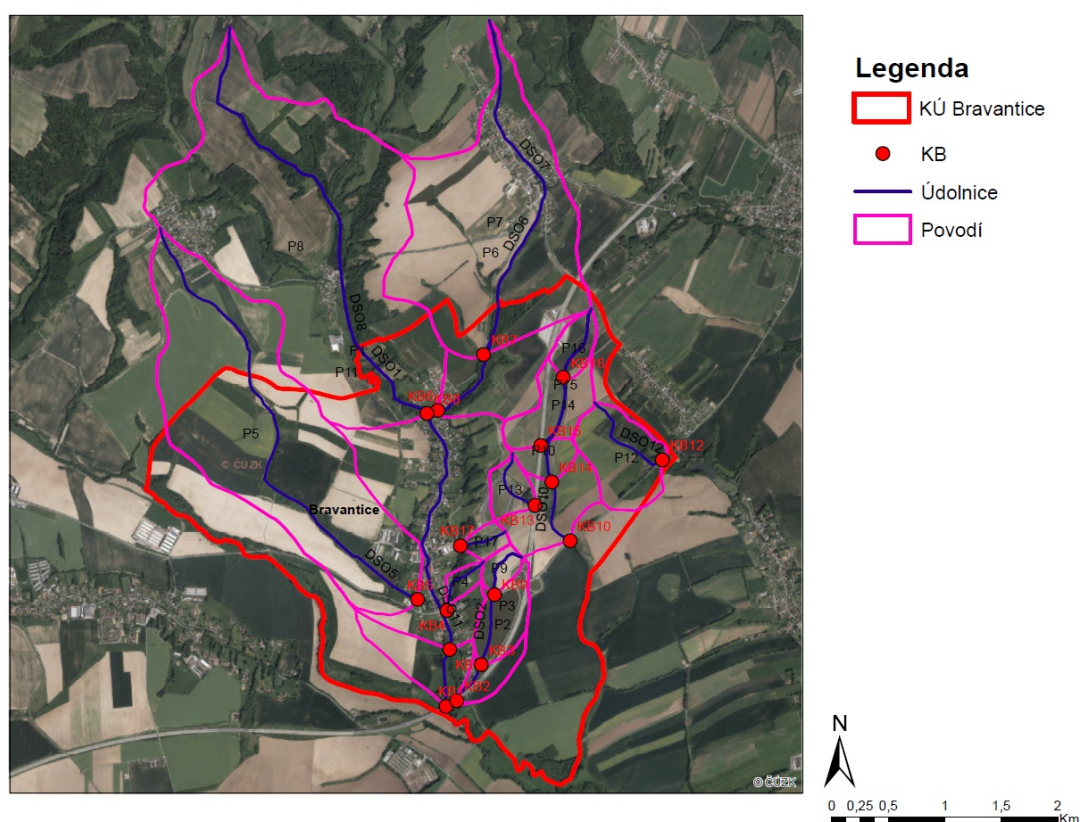
#### 5.2. Výsledek rozboru stávajících erozních poměrů



Obr. 16) Mapa erozního smyvu před opatřením

## 6. Rozbor stávajících odtokových poměrů

Rozbor stávajících odtokových poměrů v KÚ Bravantice byl proveden pro 17 dílčích povodí (Obr.17) označených jako P1 až P17. Význam rozboru je zjistit povrchový odtok pro návrhový déšť se 100-letým opakováním a pro zjištění průtoku potřebného k návrhu průlehů a zatravněných údolnic. Rozbor byl proveden metodou CN-křivek (CN–Curve Number). Metodu odvodili a publikovali v roce 1972 v USA pro potřeby Služby na ochranu půdy (SCS – Soil Conservation Service). Jedná se o jednoduchý srážkoodtokový model se snadno zjistitelnými vstupy, a zároveň je model poměrně přesný pro stanovení objemu odtoku z povodí do 10 km<sup>2</sup>. [12] V programu ArcGIS byly zjištěny potřebné veličiny do modelu DesQ-MaxQ, ze kterého dostaneme hodnoty povrchového odtoku údolnicí.



Obr. 17) *Situace dílčích povodí*

### 6.1. Metoda čísel odtokových křivek CN

Přímý odtok zahrnuje odtok povrchový a odtok hypodermický. Podíly těchto odtoků se zjišťují pomocí čísel odtokových CN-křivek. K hypodermický odtok představuje prosakující gravitační vody ve vrchní podpovrchové vrstvě půdy do toku, aniž by se dostala k hladině podzemní vody. Na rozdíl od základního odtoku, na jehož tvorbě se podílí voda, která infiltruje až k hladině podzemní vody a vtéká do koryt toků. CN je ukazatelem pravděpodobnost určení typu odtoku. Čím větší CN, tím spíše se jedná o povrchový

odtok.[12] Elementárním vstupem postupu CN-křivek je srážkový úhrn návrhového deště při 100-letém opakování při rovnoměrném rozdělení na ploše povodí. Objem srážek je transformován na objem odtoku pomocí CN-křivek.[12] Jejich hodnoty jsou závislé na:

- Hydrologických vlastnostech půd HPJ
- Odvozením mapy pokryvu skládající se z map LPIS, intravilánu, lesů a ostatních ploch

Kvalita hydrologických podmínek na zemědělské půdě závisí především na hustotě angažovanosti povrchu během roku, procentuálního zastoupení jetelotráv v osevním postupu, množství posklizňových zbytků na povrchu půdy a na drsnosti povrchu. V lesích špatné hydrologické podmínky znamenají, že lesní hrabanka, stromy a keře jsou nedostatečně zastoupeny nebo poškozeny, a že hrabanka nebo bylinné patro kryje půdu.[12]

Z metody CN-křivek vyplývá, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadržen. Odtok začíná po určité akumulaci srážek, po určité počáteční ztrátě, která je součtem intercepce, infiltrace a povrchové akumulace, jež byla odhadnuta na základě zkušebních měření na 20 % potenciální retence ( $I_a = 0,2 A$ ). Z uvedených souvislostí byl odvozen základní vztah: [12]

$$H_0 = \frac{(H_s - 0,2 \times A)^2}{H_s + 0,8A} \quad (6.1. - 1)$$

Kde:	$H_0$	přímý odtok	[%]
	$H_s$	úhrn návrhové srážky	[%]
	$A$	potenciální retence vyjádřená pomocí CN-křivek	[%][12]

$$A = 25,4 \times \frac{1000}{CN - 10} \quad (6.1. - 2)$$

Po dosazení do vzorce získáme objem přímého odtoku.

$$Q_{ph} = 1000 \times P_p \times H_0 \quad (6.1. - 3)$$

Kde:	$Q_{ph}$	objem přímého odtoku	[%]
	$H_0$	přímý odtok	[%]
	$P_p$	plocha povodí	[%][12]



Na odtokovou analýzu z dílčích povodí byla použita varianta s výpočtovým programem pro povodí se dvěma svahy. Při výpočtu byla uvažována varianta s maximálním n-letým průtokem vyvolaný deštěm kritické doby pro opakování 2, 10, 20, 50 a 100 let. Pro výpočet je nutno nadefinovat charakteristiky, které utvářejí odtok z dílčího povodí. (Tab. 6.1.-1) [3]:

- Sklon
- Součinitel drsnosti
- Typ a hodnota CN-křivky
- Určení geometrie

**Tab. 6.1.-1:** Vstupní hodnoty pro výpočet povrchového odtoku údolnicí

povodí	plocha povodí					CN	PŘEVÝŠENÍ
	L (km <sup>2</sup> )	P (km <sup>2</sup> )	dráha odtoku (km)	sklon (%)	drsnost		
KB1	7,024	7,290	7,098	1,86	8	83,6	132
KB2	0,392	0,138	1,570	2,23	8	83,0	35
KB3	0,265	0,115	1,174	2,39	8	83,7	28
KB4	0,048	0,027	0,595	4,88	8	79,2	29
KB5	1,552	1,857	4,390	2,46	8	82,7	108
KB6	1,465	1,906	3,976	3,07	8	85,8	122
KB7	1,028	1,774	3,268	3,37	8	86,2	110
KB8	2,017	2,795	4,310	2,88	8	81,3	124
KB9	0,049	0,051	0,530	2,45	8	81,4	13
KB10	0,472	0,760	2,267	1,59	8	87,5	36
KB11	6,394	7,031	6,580	1,98	8	83,6	130
KB12	0,123	0,393	0,933	3,22	8	80,5	30
KB13	0,064	0,094	0,638	2,51	8	82,4	16
KB14	0,272	0,388	1,655	1,87	8	87,0	31
KB15	0,199	0,315	1,359	1,91	8	87,5	26
KB16	0,063	0,095	0,683	2,78	8	88,6	19
KB17	0,050	0,038	0,431	5,81	8	80,2	25

## 6.2. Výsledky rozboru stávajících odtokových poměrů

V bakalářské práci jsem k představení výsledků vybral zjednodušenou tabulku výsledných hodnot povrchového odtoku z dílčích povodí. V příloze A1 jsou veškeré vstupní a výstupní hodnoty z programu DesQ-MaxQ:

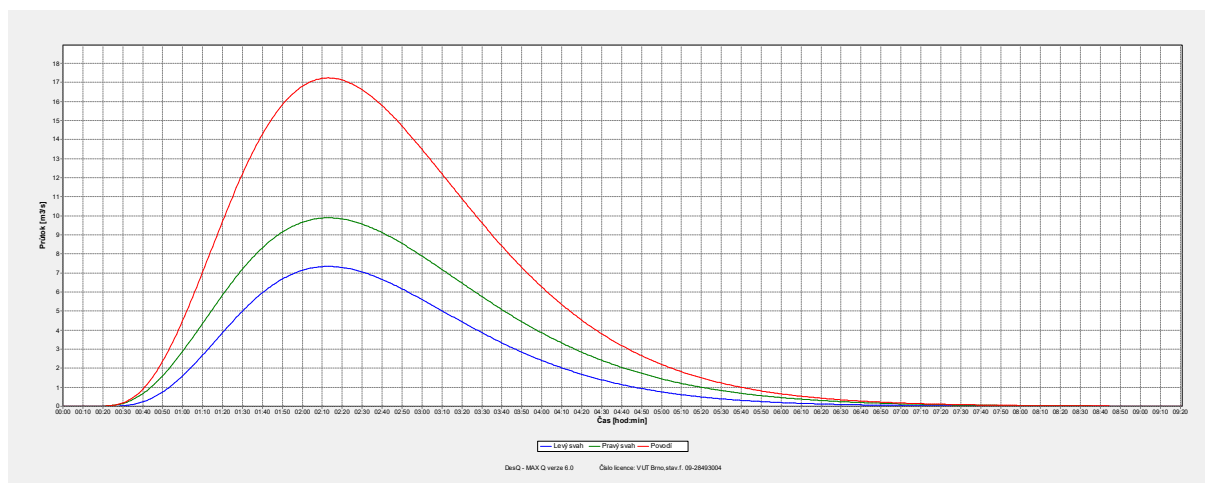
**Tab. 6.2.-1:** Výstupní hodnoty povrchového odtoku z dílčích povodí

Číslo dílčího povodí		N-leté maximální průtoky a objemy povodňových vln					Jednotky
		5	10	20	50	100	[roky]
P1	$Q_{\max}$	4,93	7,95	12,1	18,4	24,2	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	$W_{PVT}$	242	308	379	469	537	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	353	425	491	565	626	$[10^3 \cdot m^3]$
P2	$Q_{\max}$	0,636	0,977	1,47	2,28	2,94	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	$W_{PVT}$	7,28	9	10,8	13,7	15,5	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	11,8	14,3	16,5	18,9	20,9	$[10^3 \cdot m^3]$
P3	$Q_{\max}$	0,528	0,816	1,25	1,88	2,43	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	$W_{PVT}$	5,57	6,91	8,47	10,4	11,8	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	9,22	11,1	12,8	14,7	16,3	$[10^3 \cdot m^3]$
P4	$Q_{\max}$	0,163	0,237	0,328	0,46	0,57	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	$W_{PVT}$	587	757	948	1,37	1,54	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	1,57	1,89	2,16	2,44	2,68	$[10^3 \cdot m^3]$
P5	$Q_{\max}$	2,94	4,42	6,47	9,78	12,9	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	$W_{PVT}$	52,7	64,7	78,2	96,4	110	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	79,3	95,4	110	126	139	$[10^3 \cdot m^3]$
P6	$Q_{\max}$	3,72	5,63	8,39	13	17,2	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	$W_{PVT}$	58,9	72,7	88,4	110	127	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	88,8	107	124	143	159	$[10^3 \cdot m^3]$
P7	$Q_{\max}$	2,96	4,52	6,82	10,7	14	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	$W_{PVT}$	47,7	58,9	72	90,4	106	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	74,4	89,5	104	120	133	$[10^3 \cdot m^3]$
P8	$Q_{\max}$	3	4,82	7,11	10,4	13,3	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	$W_{PVT}$	74	93,9	114	138	156	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	109	131	150	171	189	$[10^3 \cdot m^3]$

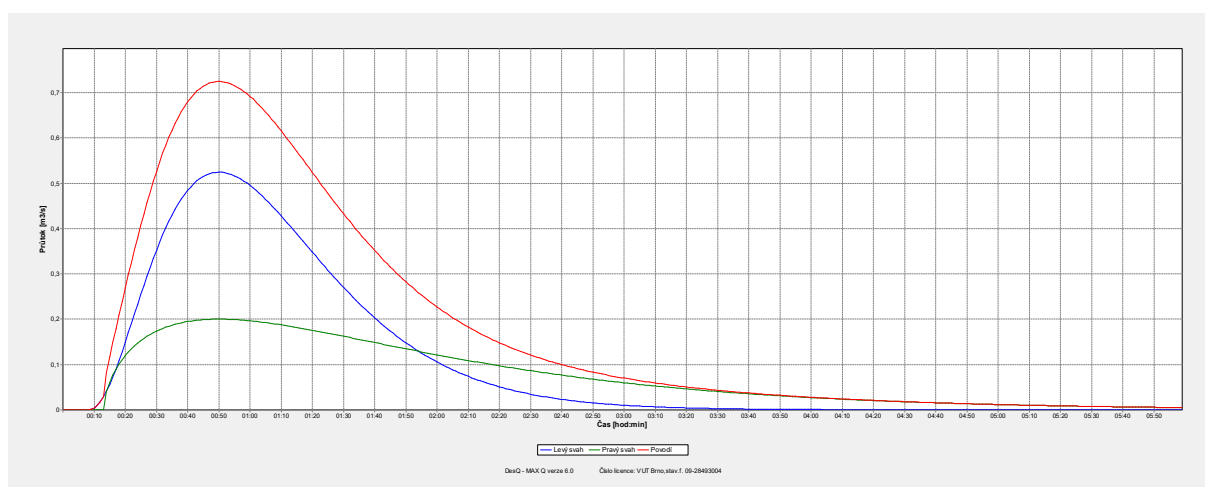


P9	Q <sub>max</sub>	0,18	0,273	0,394	0,572	0,725	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	1,09	1,33	1,6	1,91	2,16	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	2,23	2,68	3,07	3,49	3,85	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
P10	Q <sub>max</sub>	1,39	2,13	3,22	5,06	6,58	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	20,7	25,6	31,5	39,6	46,3	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	32,7	39,3	45,5	52,6	58,4	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
P11	Q <sub>max</sub>	4,72	7,6	11,5	17,6	23,2	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	227	289	356	440	504	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	331	398	460	530	587	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
P12	Q <sub>max</sub>	0,418	0,635	0,93	1,39	1,81	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	7,63	7,27	10,1	12,8	15	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	11,3	13,6	15,6	17,7	19,5	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
P13	Q <sub>max</sub>	0,268	0,407	0,595	0,878	1,11	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	1,85	2,28	2,75	3,31	3,73	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	3,77	4,53	5,22	5,98	6,62	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
P14	Q <sub>max</sub>	1,26	1,96	2,92	4,42	5,73	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	10,7	13,8	16,8	20,6	23,3	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	18,6	22,3	25,9	30	33,4	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
P15	Q <sub>max</sub>	0,882	1,37	2,08	3,14	4,07	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	8,94	10,8	13,7	16,7	19	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	14,5	17,5	20,2	23,5	26,1	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
P16	Q <sub>max</sub>	0,45	0,689	1,02	1,55	1,99	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	2,51	3,1	3,79	4,63	5,25	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	4,71	5,65	6,56	7,62	8,47	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
P17	Q <sub>max</sub>	0,17	0,257	0,369	0,528	0,653	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	821	1,02	1,2	1,43	1,66	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	1,89	2,27	2,6	2,95	3,25	

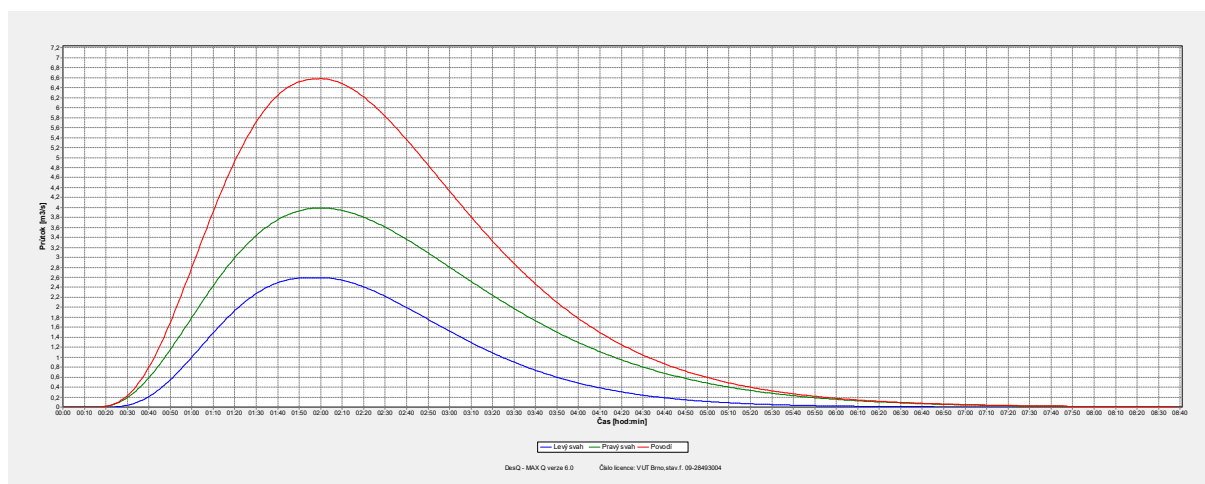
**Graf 6.2.-3: Časový průběh odtoku z povodí P6,  $Q_{100}$**



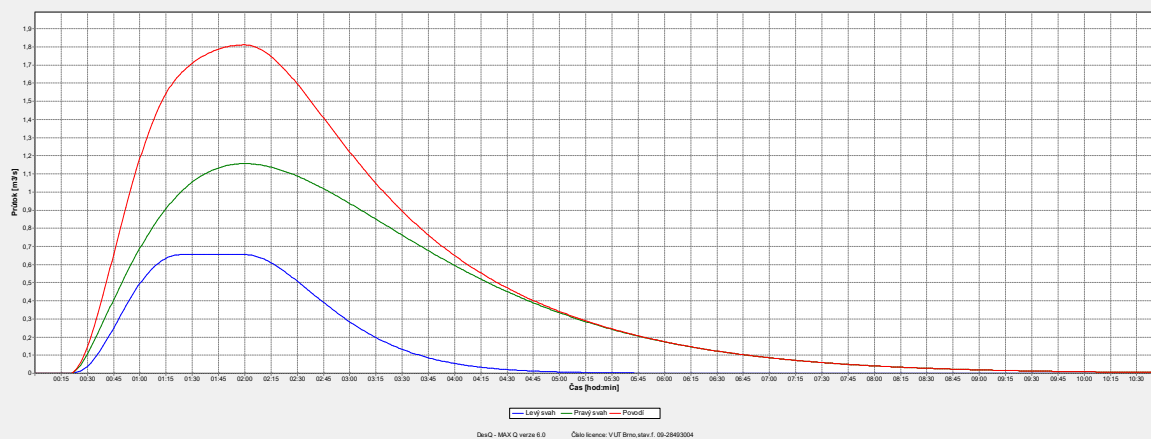
**Graf 6.2.-4:** Časový průběh odtoku z povodí P9,  $Q_{100}$



**Graf 6.2.-5:** Časový průběh odtoku z povodí P10,  $Q_{100}$



**Graf 6.2.-6:** Časový průběh odtoku z povodí P12,  $Q_{100}$



## 7. Návrh protierozních a protipovodňových opatření

Navrhované plošné i liniové protierozní a protipovodňové opatření jsou přírodě blízké a o použití jednotlivých způsobů ochrany rozhoduje požadované snížení smyvu půdy, nutná ochrana objektů před vodní erozí a zároveň snižovala objem odtoku srážek z příkrých svahů. Jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, které se vzájemně doplňují a respektují požadavky všech zúčastněných stran (vlastníků a uživatelů půdy, ochrany půdy a tvorby krajiny).[12]

Opatření bylo navrženo na základě rozboru stávajících odtokových a erozních poměrů. Při návrhu protierozních a protipovodňových opatření v KÚ Bravantice bylo postupováno dle metodiky pro ochranu zemědělské půdy před erozí od Miroslava Janečka a kolektivu.

### 7.1. Organizační protierozní opatření

Pro ochranu proti vodní erozi organizačními opatřeními se vychází ze znalosti příčin vzniku erozních jevů a zákonitostí vývoje vodní eroze. Z toho vyplývají obecné protierozní zásady:

- Včasný termín výsevu plodin
- Výsev víceletých píceňin do krycí plodiny
- Posun podmytky do období s nižším výskytem přívalových dešťů (tj. září)
- Zařazování bezorebně setých meziplochin
- Rozmístění plodin podle ohroženosti pozemku

Zásadní roli má vegetační pokryv v protierozní ochraně, který:

- Chrání půdu před kinetickou energií kapek
- Podporuje vsakování vody do půdy
- Zvyšuje soudržnost půdy kořenovým systémem [12]

#### 7.1.1. Definice druhu pozemků a ochranné zatravnění

Definice druhů pozemků se chápe jako prostorová a funkční optimalizace pozemků, sloužících k pěstování jednotlivých kultur. V rámci uspořádání se zemědělský půdní fond (ZPF) se skládá z orné půdy, zahrady, louky, pastviny, vinice, sady a chmelnice. [12]

Ochranné zatravnění jsou využívány na pozemcích, které se nedají použít z hlediska eroze jako orná půda. Vhodně začleněný travní porost je nejvíce účinným protierozním opatřením a protierozní ochranou. Pro kvalitní vegetační kryt jsou upřednostňovány trávy výběžkaté tvořící pevný drn. Trvalé travní porosty (TTP) byly navrženy tak, aby chránily plochy:

- Podél břehů
- V údolnicích
- V profilech navržených záchytných průlehů [12]

V lokalitě nebyly identifikovány erozně nebezpečné svahy se sklonem nad 20%. Bylo navrženo jen 10 m ochranné zatravnění kolem toků, jelikož jsou to místa potenciálně nebezpečné.

Navržené TTP se projeví zvýšeným vlivem vegetace a to pomáhá chránit oblast proti eroznímu smyvu. Při opětovném výpočtu změnu vyhodnotíme změnou C-faktoru na 0,005 a dojde ke změně rastru C-faktoru.

### 7.1.2. Protierozní rozmísťování plodin

Hlavní pravidlo zajišťující ochranu půdy rozmísťováním plodin je vyloučení erozně nebezpečné plodiny (VENP) na středně sklonitých pozemcích, nemají dostatečný ochranný účinek. (okopaniny, kukuřice, ostatní širokořádkové plodiny). [12]

Ochranný účinek lze zvýšit střídáním vrstevnicových pásů u širokořádkových plodin pomocí okopanin a víceletých píceň. Obilninami lze osévat celý pozemek. [12]

V lokalitě byly identifikovány svahy přesahující 7% přímo nad intravilánem. Na těchto plochách byly vyloučeny erozně nepříznivé plodiny. To způsobí vyšší kvalitu krytí vegetace. Plochy, kde byly navrženo VENP, jsou ohodnoceny C-faktorem 0,8.

### 7.1.3. Pásové střídání plodin

Podstatou tohoto opatření je střídání erozně nebezpečných plodin (kukuřice, okopaniny, ...) a plodin chránící půdu (jetel, vojtěška, ...). Šířka pásu je závislá na sklonu a délce svahu, propustnosti půdy, její náchylnosti k erozi a šířce záběru strojů. [12]

Vrstevnicové pásy by měly být uspořádány tak, že mezi stejně široké pásy plodin jsou sázeny nestejně široké pásy travních porostů. [12]

Střídáním plodin dosáhneme vyšší ochrany vegetací a tím snížení erozního smyvu.

**Tab. 7.1.-1:** Výkaz výměr VENP opatření

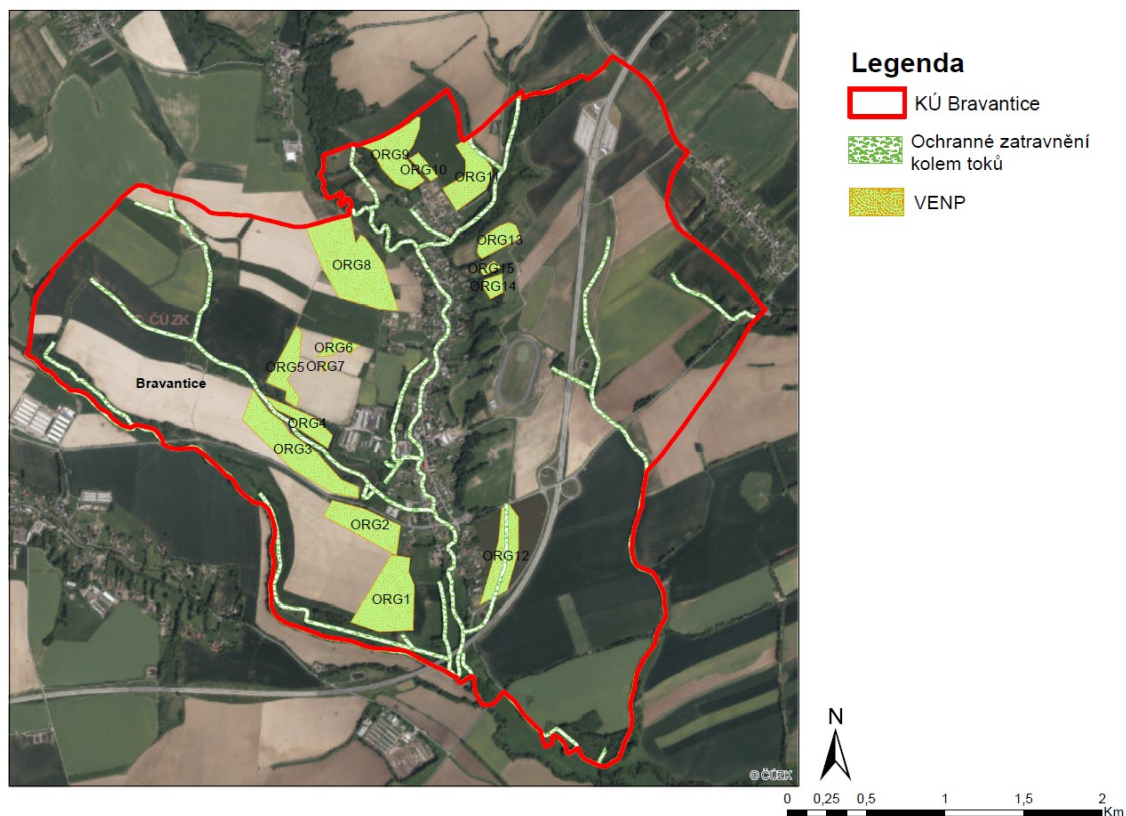
VENP	
PEO	Plocha (m <sup>2</sup> )
ORG1	128849
ORG2	78058
ORG3	131649
ORG4	36939
ORG5	47702
ORG6	14766

ORG7	2085
ORG8	193214
ORG9	84012
ORG10	12577
ORG11	68291
ORG12	75233
ORG13	33502
ORG14	13696
ORG15	5340

**Tab. 7.1.-2:** Výkaz výměr OPAS opatření

OPAS					
PEO	Plocha (m <sup>2</sup> )	Délka (m)	PEO	Plocha (m <sup>2</sup> )	Délka (m)
OPAS1	19436	1096	OPAS14	11994	811
OPAS2	36866	1536	OPAS15	3697	166
OPAS3	40927	1706	OPAS16	5636	235
OPAS4	1255	52	OPAS17	10647	444
OPAS5	15187	634	OPAS18	71745	2990
OPAS6	18204	759	OPAS19	21439	894
OPAS7	1494	62	OPAS20	4081	170
OPAS8	21355	890	OPAS21	4134	172
OPAS9	4453	186	OPAS22	7037	293
OPAS10	32262	1344	OPAS23	125	5
OPAS11	3139	131	OPAS24	18868	786
OPAS12	770	32	OPAS25	2938	122
OPAS13	34278	1428	OPAS26	3397	142
OPAS					
PEO	Plocha (m <sup>2</sup> )	Délka (m)	PEO	Plocha (m <sup>2</sup> )	Délka (m)
OPAS27	4918	205	OPAS40	7900	329
OPAS28	3250	136	OPAS41	35209	1467
OPAS29	7272	303	OPAS42	6684	279
OPAS30	7923	1235	OPAS43	4639	193
OPAS31	2965	124	OPAS44	2061	86
OPAS32	15359	640	OPAS45	24643	1027
OPAS33	12132	506	OPAS46	21276	1126
OPAS34	2596	108	OPAS47	14364	599
OPAS35	20122	839	OPAS49	22334	931
OPAS36	9591	400	OPAS50	11348	473
OPAS37	9974	416	OPAS51	627	103
OPAS38	4640	194	OPAS52	7468	686
OPAS39	16106	889			

U organizačních opatření ORG5, ORG6, ORG7, ORG9, ORG10, ORG 11, ORG12, ORG13, ORG14 a ORG15 navrhuji vysévat obilniny, jelikož tam není tak znatelné ohrožení. ORG1, ORG2, ORG3, ORG8 je navrženo pásové střídání rostlin z důvodu většího erozního smyvu a dostatečné ochrany intravilánu. Pro opatření ORG4 jsem zvolil víceleté pícniny, jelikož se jedná o rizikovou plochu. Výměra u všech opatření viz Tab. 7.1.-1 a umístění viz mapa Obr. 18).



Obr. 18) *Situace navržených organizačních opatření*

## 7.2. Agrotechnická protierozní opatření

Obnažená půda je nejvíce náchylná k eroznímu smyvu, proto se navrhuje agrotechnická opatření (AGT), která zkracují dobu, kdy je půda bez vegetačního pokryvu. K ochraně proti erozi jdou používat posklizňové zbytky a biomasu meziplodin. Tuhle vegetační ochranu aplikujeme u erozně nebezpečných rostlin v období jejich největší náchylnosti k erozi (okopaniny, kukuřice v létě, řepka). [12]

Pomocí různých způsobů orby jde účinně chránit půdu před erozí, jako jsou například mělké kypření půdy, hlubší prokypření ornice nebo části podorničí bez obracení zpracovávané vrstvy půdy. Důležité je dodržet směr orby ve svažitých pozemcích, měl by být pojezd ve směru vrstevnic. To způsobí menší pravděpodobnost výskytu drah soustředěného odtoku. [12]

Je několik způsobů AGT a rozlišujeme je podle technologie pěstování kultury:



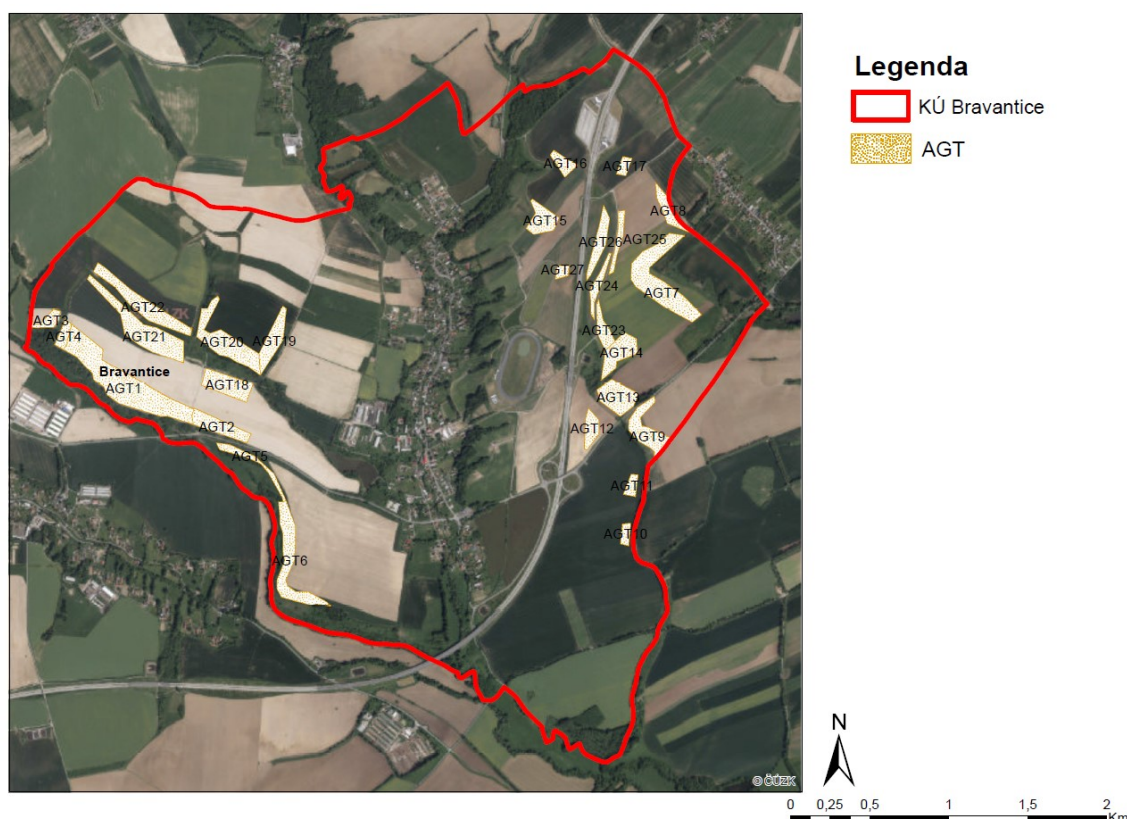
- Protierozní technologie pěstování kukuřice a slunečnice
- Protierozní technologie pěstování řepky ozimé a obilnin
- Protierozní technologie brambor
- Protierozní technologie cukrovky
- Protierozní ochrana chmelnic [12]

Ve zkoumané lokalitě byly identifikovány plochy se mimo intravilán se sklonem větší jak 7% a s erozním smyvem nad limit 4t/ha/rok. Opět dojde ke zvýšení účinnosti protierozní ochrany Plochy, kde se nachází AGT pozmění C-faktor na hodnotu 0,08 a opět pozmění rastr C-faktoru.

V místě s největším erozním smyvem tj. nad 20 t/ha/rok jsou navrženy AGT1 (120058 m<sup>2</sup>), AGT2 (24644 m<sup>2</sup>), AGT3 (11049 m<sup>2</sup>), AGT4 (9908 m<sup>2</sup>), AGT6 (56703 m<sup>2</sup>), AGT7(86563 m<sup>2</sup>), AGT9 (38193 m<sup>2</sup>), AGT 10(7223 m<sup>2</sup>), AGT 14 (31929 m<sup>2</sup>), AGT15 (24990 m<sup>2</sup>), ostatní AGT prvky viz tabulka Tab. 7.2.-1, umístění v extravilánu viz mapa Obr.19).

**Tab. 7.2.-1:** Výkaz výměr AGT opatření

AGT			
PEO	Plocha (m <sup>2</sup> )	PEO	Plocha (m <sup>2</sup> )
AGT1	120058	AGT15	24990
AGT2	24644	AGT16	13008
AGT3	11049	AGT17	7500
AGT4	9908	AGT18	22376
AGT5	15795	AGT19	29280
AGT6	56703	AGT20	59025
AGT7	86563	AGT21	64700
AGT8	18340	AGT22	36631
AGT9	38193	AGT23	15871
AGT10	7223	AGT24	13408
AGT11	8247	AGT25	12645
AGT12	16238	AGT26	23443
AGT13	36138	AGT27	5596
AGT14	31929		



Obr. 19) *Situace navržených agrotechnických opatření*

### 7.3. Technická protierozní opatření

Technická opatření se navrhují pokud organizační a agrotechnická opatření nejsou dostatečná. Prvky technického opatření jsou, ty co přerušují příliš dlouhé svahy (průlehy) nebo ty co přerušují příliš příkré svahy (terasy) a snižují nepříznivé účinky povrchového odtoku. Protierozní nádrže regulují odtok vody ze svahu a tím chránit intravilán. Tato opatření mají také funkci krajiny, estetickou nebo také ekologickou, proto se při jejich návrhu musí k nim přistupovat s citem. [12]

#### 7.3.1. Zatravněné dráhy soustředěného odtoku

Přírodě blízké protierozní opatření přizpůsobené morfologickému charakteru krajiny bez projevů eroze bezpečně převádí povrchový odtok (má podobnost s údolnicí nebo průlehem). Při jarních oblevách má objem odtoku největší objem a proto je důležité ten to odtok zredukovat, k tomu nám napomáhá vegetační pokryv, který nejen zamezí výskytu rýh, ale díky toho se prodlouží dráha dotoku do kritického bodu. Při menších srážkách se voda vsakuje přímo do zatravnění. [12]

V analyzovaném území jsem navrhl pár zatravněných drah soustředěného odtoku (šířky 20 m), pomocí akumulace, která tyto nebezpečná místa označila. Předmětem této práce nebylo dimenzovat tyto dráhy soustředěného odtoku.

### 7.3.2. Průlehy

Opatření, které má největší význam jako podpůrné opatření ochrany orné půdy. V kombinaci s agronomickými a organizačními protierozními opatřeními zvláště. Průleh má mírné svahy (1:5-1:10), který umožňuje přejezd. Podélný sklon je velice slabý. Proudící voda průlehem má možnost se vsáknout nebo je bezpečně převedena. [12]

- Příčný průleh – rozdělí dlouhé svahy na kratší
- Sběrný průleh – mělký široký příkop na svazích do sklonu 15% výjimečně 18% [12]

Na území bylo navrženo 5 svodných průlehů a 4 sběrné s předpokladem, že budou částečně plnit funkci vsakovací.

Průleh s označením PR1 (295 m) má za úkol odvést vodu do blízkého toku, PR2 (507 m) má funkci sběrnou se zaústěním do bezejmenného toku, na něj je naveden příčný průleh PR3 (188 m), všechny jsou umístěny do polí. PR5 (150) je svodný průleh s hlavní funkcí zasakovací a odvedením vody při větších srážkách do místního lesa. Největší příčné průlehy jsou situovány přímo nad intravilán, PR6 (695 m), PR7 (644 m) a PR8 (681 m), rozdělují svahy na kratší, jejich odtoky jsou zaústěny do toku protékající přehradou a do místního toku Seziny, a zabraňují tak největšímu podílu erozního smyvu. PR9 (309 m) je svodný průleh umístěný těsně nad intravilánem se zaústěním do Seziny.

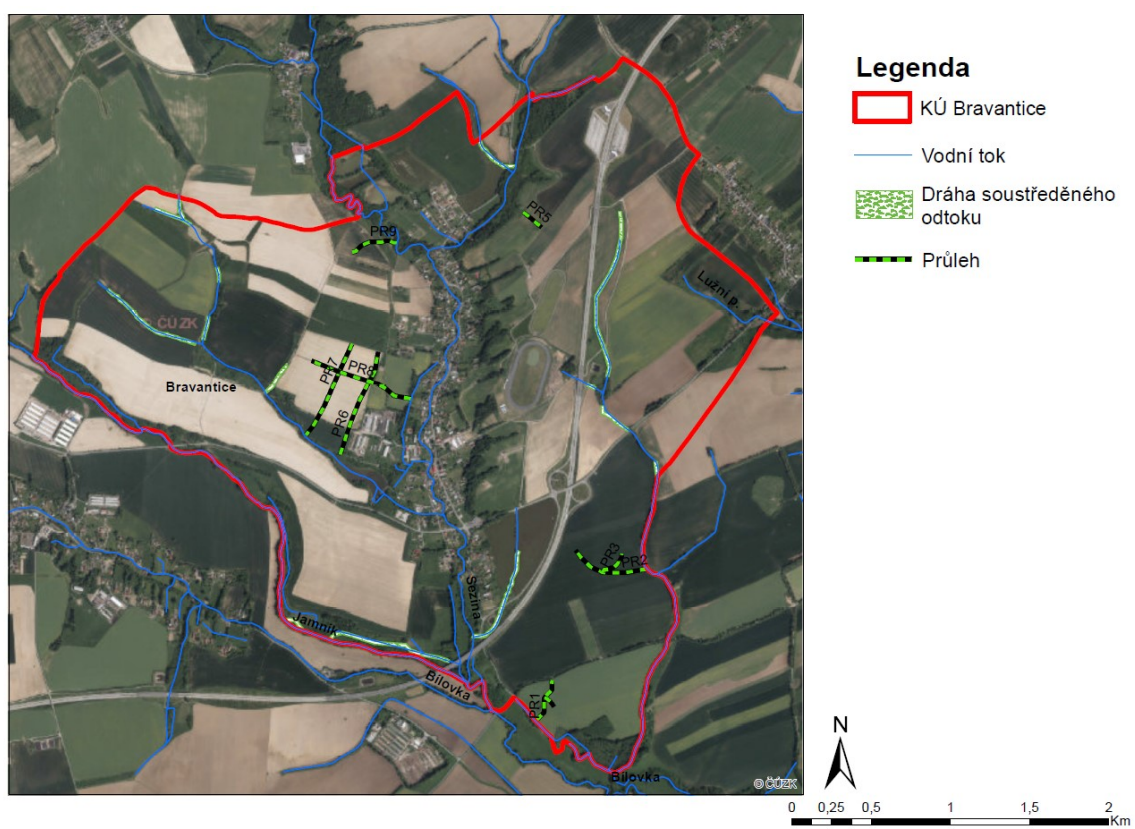
Předmětem této práce nebylo dimenzovat průlehy.

**Tab. 7.3.-1:** Výkaz výměr SDSO opatření

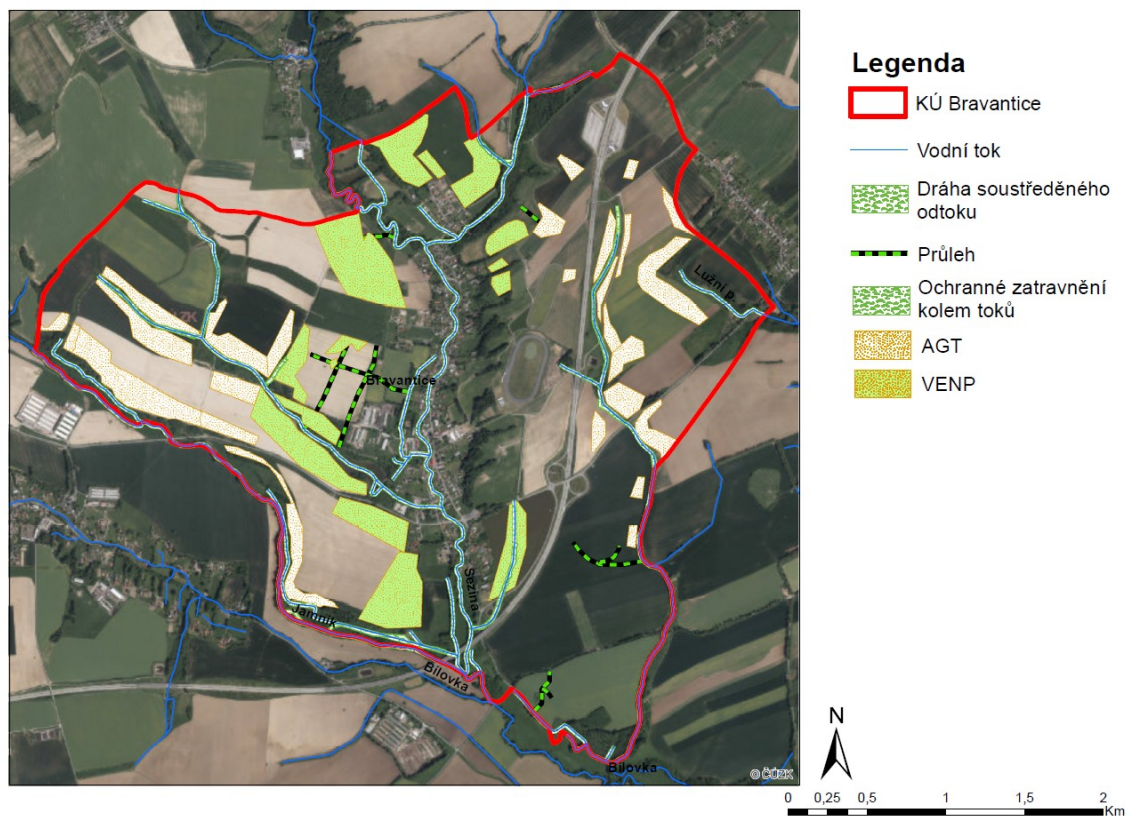
SDSO		
PEO	Plocha (m <sup>2</sup> )	Délka (m)
SDSO - 1	4508	225
SDSO - 2	6168	308
SDSO - 3	13484	675
SDSO - 4	2510	121
SDSO - 5	13479	674
SDSO - 6	4994	250
SDSO - 7	2958	148
SDSO - 8	3024	151
SDSO - 9	1814	91
SDSO - 10	15798	790
SDSO - 11	21812	1091
SDSO - 12	4777	239
SDSO - 13	1075	54
SDSO - 14	1875	94

**Tab. 7.3.-2:** Výkaz výměr liniových opatření

Průleh			
PEO		Délka (m)	Plocha (m <sup>2</sup> )
PR1		295	1624
PR2		507	2786
PR3		188	1032
PR4		86	473
PR5		150	825
PR6		695	3823
PR7		644	3541
PR8		681	3744
PR9		309	1700



Obr. 20) *Situace navržených technických opatření*



Obr. 21) Celková situace navržených opatření

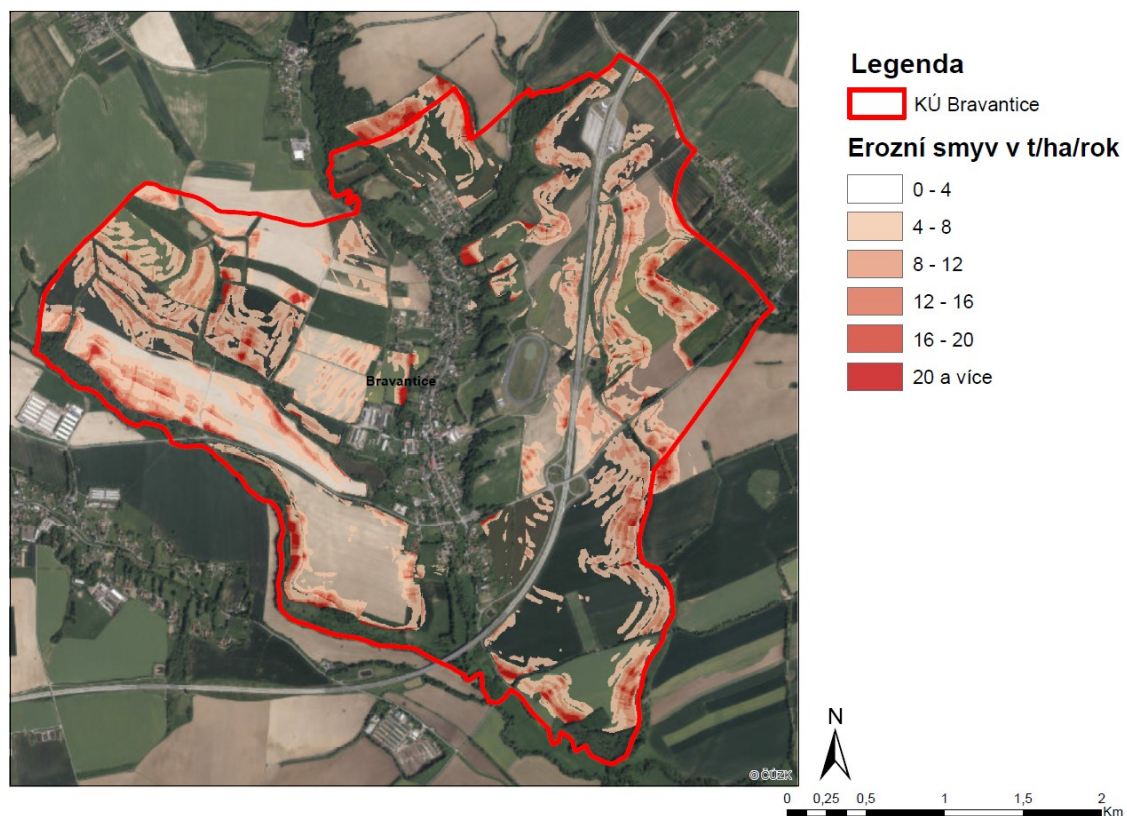
## 8. Vyhodnocení účinnosti opatření

**Tab. 8.-1:** Porovnání erozního smyvu před a po návrhu

EHP	G před návrhem PSZ	G po návrhu PSZ
	(t/ha/rok)	(t/ha/rok)
EHP1	2,754683	2,754683
EHP2	9,324265	9,324265
EHP3	0,032525	0,032525
EHP6	3,25272	3,25272
EHP8	0,208204	0,208204
EHP15	7,575833	7,575833
EHP16	5,612696	5,612696
EHP17	3,488613	3,488613
EHP23	7,315083	7,315083
EHP24	3,656787	3,656787
EHP30	6,634655	6,634655
EHP35	5,05457	5,05457
EHP39	2,474683	2,474683
EHP42	5,513793	5,513793
EHP43	4,283397	4,283397
EHP44	4,180752	4,180752
EHP45	5,889138	5,889138
EHP49	9,33643	3,457937
EHP55	5,461608	5,461608
EHP57	4,636229	4,636229
EHP58	5,874807	5,874807
EHP63	5,422546	5,422546
EHP66	3,541253	3,541253
EHP67	4,608434	4,608434
EHP70	12,089413	4,47756
EHP71	0,045666	0,045666
EHP79	4,470906	4,470906
EHP82	7,138947	7,138947
EHP83	4,244758	4,244758
EHP85	2,513593	2,513593
EHP86	5,499152	5,499152
EHP88	4,911628	4,911628
EHP89	6,08201	6,08201
EHP91	4,400711	4,400711
EHP98	2,526781	2,526781
EHP101	0,034288	0,034288
EHP103	4,912385	4,912385
EHP121	27,40702	10,150748



EHP135	34,590959	12,811465
EHP139	9,235309	3,420485
EHP144	7,962889	2,949218
EHP159	27,598035	10,221494
EHP276	16,234827	6,012898
EHP283	20,631778	7,641399



Obr. 22) Erozní smyv po návrhu opatření

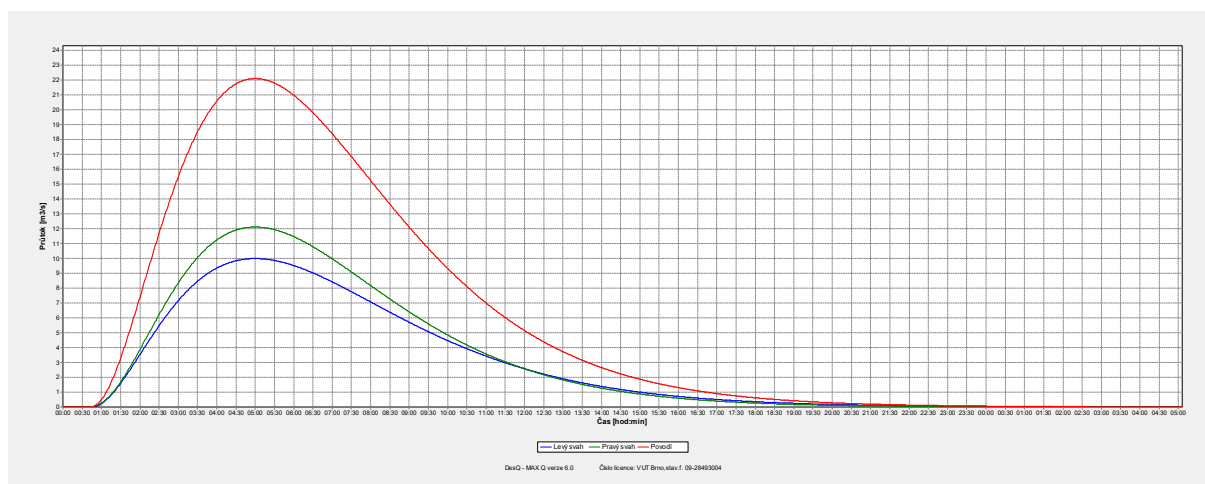
Tab. 8.-2: Změna objemu povodňové vlny

Číslo dílčího povodí	před	po
	$W_{PVT,100}$ [ $10^3 \cdot m^3$ ]	$W_{PVT,100}$ [ $10^3 \cdot m^3$ ]
P1	537	513
P2	15,5	16,6
P3	11,8	11,6
P4	1,54	1,53
P5	110	112
P6	127	113
P7	106	91,2
P8	156	153

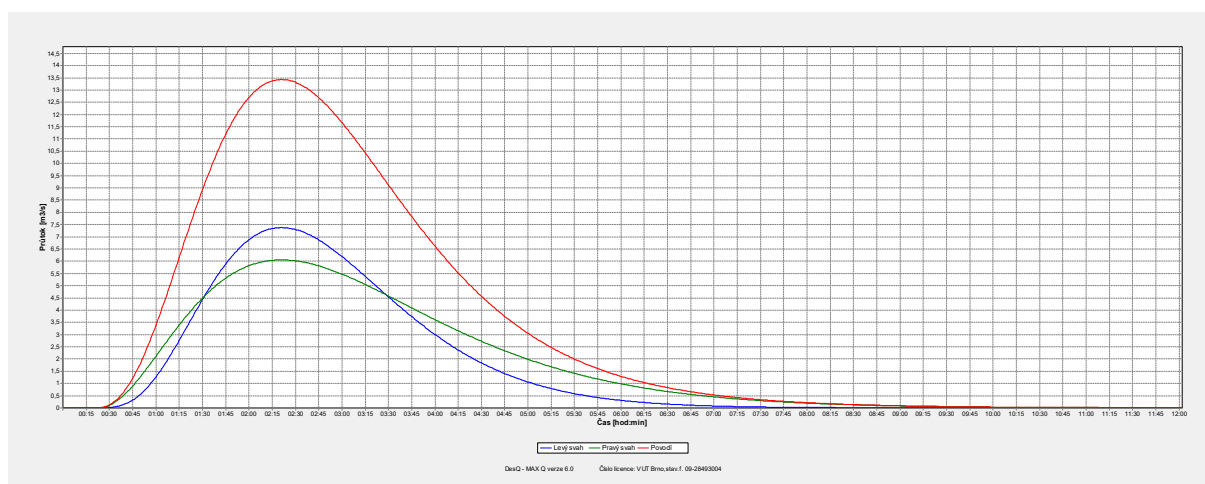
P9	2,16	2,28
P10	46,3	44,9
P11	504	482
P12	15	14,4
P13	3,73	3,73
P14	23,3	24
P15	19	19
P16	5,25	5,25
P17	1,66	1,66

Grafické znázornění změny povodňové vlny pro lepší představu.

**Graf 8.-1:** Časový průběh odtoku z povodí P1,Q<sub>100</sub>

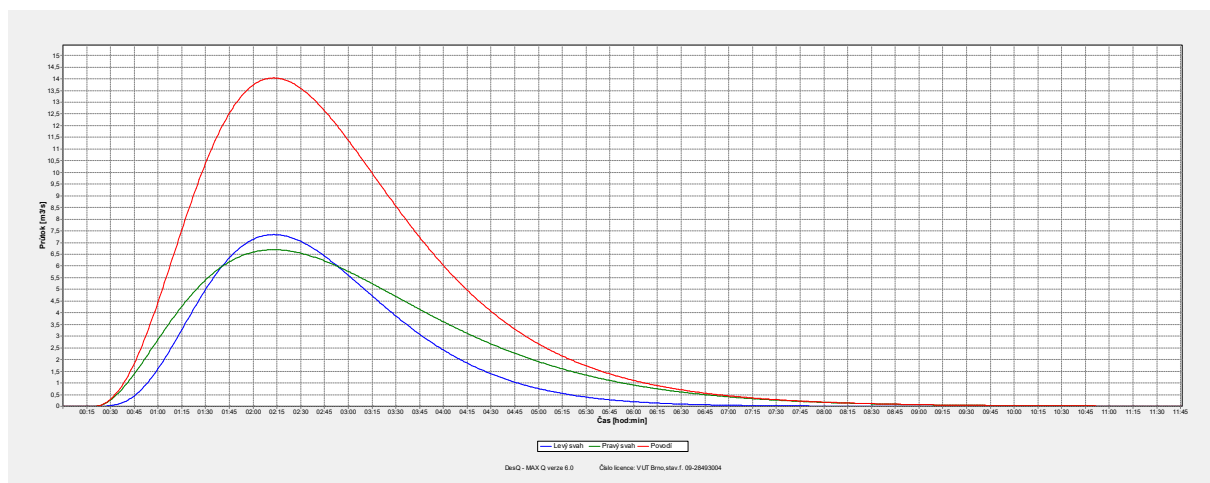


**Graf 8.-2:** Časový průběh odtoku z povodí P5, Q<sub>100</sub>

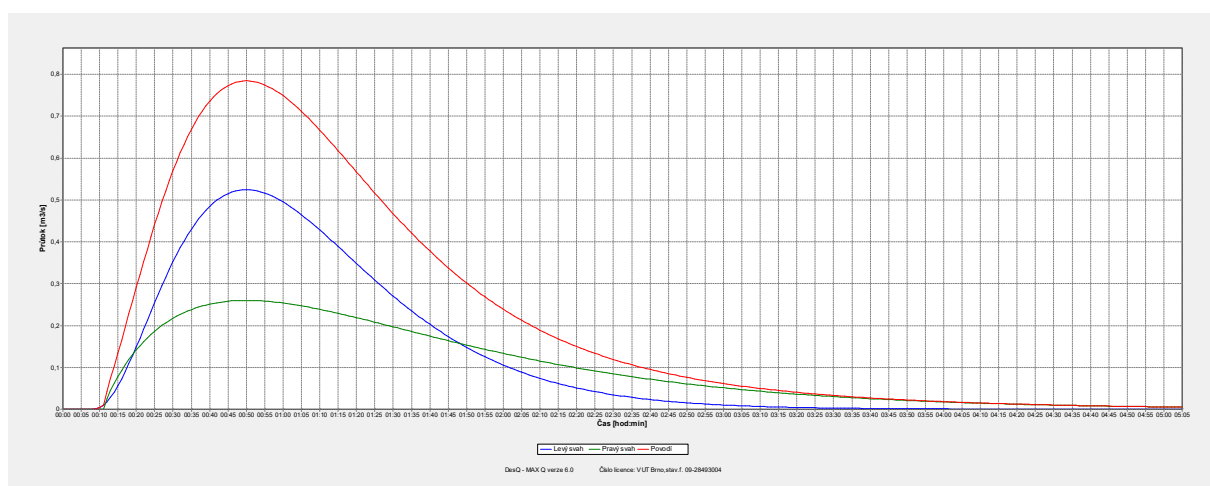


**Graf 8.-3:** Časový průběh odtoku z povodí P6, Q<sub>100</sub>

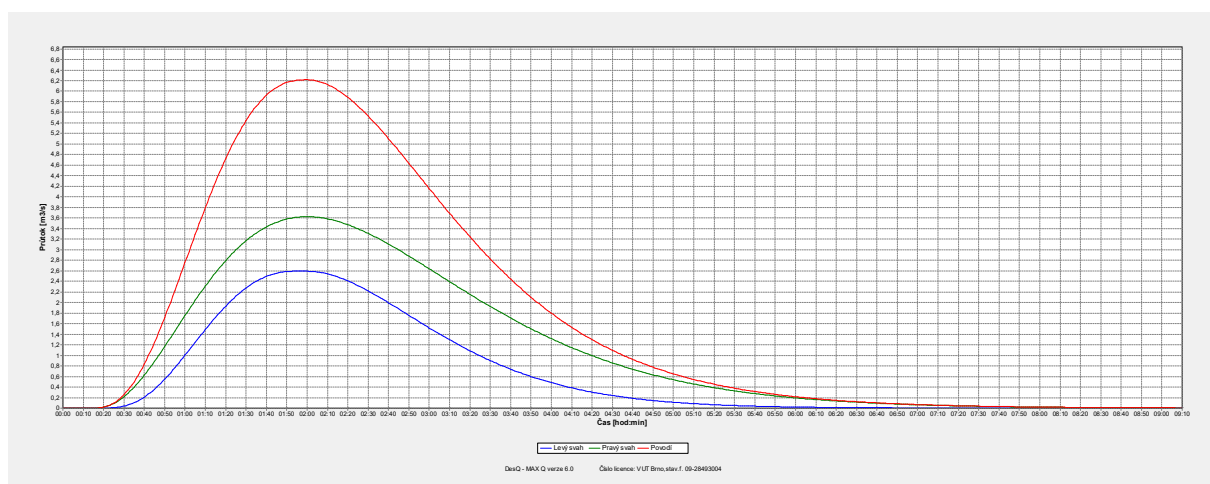




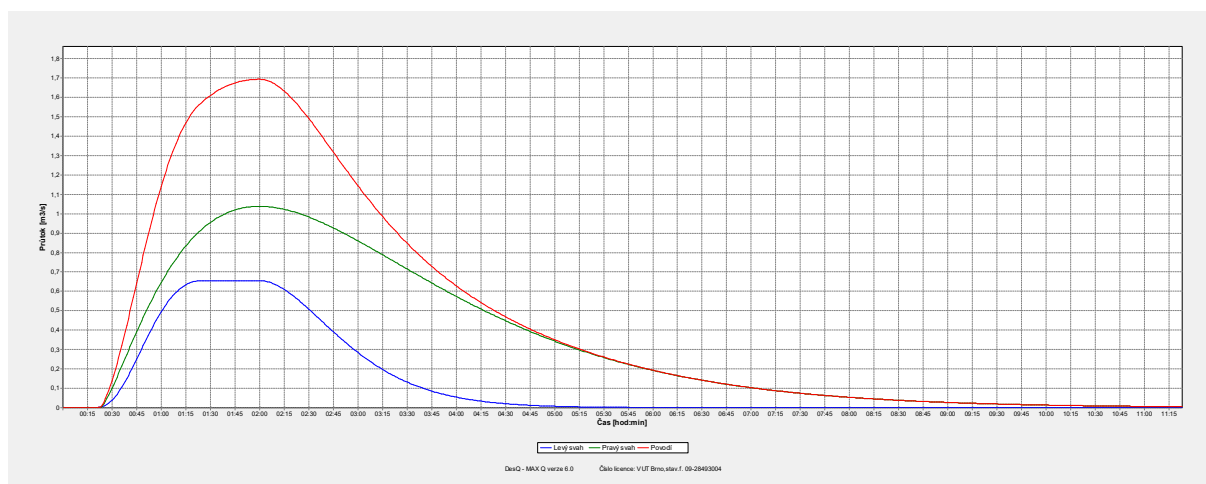
**Graf 8.-4:** Časový průběh odtoku z povodí P9,  $Q_{100}$



**Graf 8.-5:** Časový průběh odtoku z povodí P10,  $Q_{100}$



**Graf 8.-6:** Časový průběh odtoku z povodí P12,  $Q_{100}$



## 9. Závěr

Cílem této práce bylo přiblížit ohrožitelnost půdy vodní erozí a povrchovým odtokem ve zkoumaném území KÚ Bravantice. Na základu těchto činitelů, jejich znaků a podrobného průzkumu jsem navrhl přírodě blízkou komplexní ochranu.

Ochrana je trojího typu organizační, agrotechnická a technická. Při vhodném použití a znalostí v čem tyto opatření spočívají, jsou velice efektivní. Organizační, plochy nad inravilánem díky travnímu porostu a vyloučení nevhodných plodin, velice redukuje erozní smyv. Agrotechnické chrání zem bez vegetačního pokryvu a zabraňují tak masivními smyvu půdních částic, tím že se nechávají posklizňové zbytky. V poslední řadě technická opatření, které rozdělují dlouhé svahy a snižují odtok ze svahu. Díky kombinaci těchto opatření je docíleno ochrany území před povodněmi a nepříznivými účinky deště.

Obrovskou práci usnadnily výpočetní programy pro hydrologické analýzy ArcGis a DesQ-MaxQ, které dodávaly přehledné podklady.

## 10. Seznam použité literatury

- [1] HOLÝ, Miloš. *Eroze a životní prostředí*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. ISBN 80-010-1078-3.
- [2] DUMBROVSKÝ, Miroslav a Rudolf MILERSKI. *Vodní hospodářství krajiny II*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005.
- [3] HRÁDEK, František a Karel KUŘÍK. *Maximální odtok z povodí: teorie svahového odtoku a hydrologický model DesQ-MAX Q*. Praha: Credit, [2001]. ISBN isbn80-213-0782-x.
- [4] HRUBÝ, Martin. *Geografické informační systémy: GIS*. Brno: Fakulta informačních technologií, 2008.
- [5] DUMBROVSKÝ, M.: *Geografické informační systémy*, FAST VUT Brno 2009
- [6] Půda v číslech. *VÚMOP* [online]. Praha, 2006, 23. června [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://statistiky.vumop.cz/?core=popis>
- [7] Vyhodnocení dopadů povodní na krajinu a životní prostředí: Dílčí zpráva. [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/pov09/doc/08.pdf>
- [8] SOBOTKOVÁ, Veronika, František PAVLÍK, Jana UHROVÁ a Miroslav DUMBROVSKÝ. *Vyhodnocení dopadů povodní na krajinu a životní prostředí*: Dílčí zpráva. [online]. In: . Brno: ČHMÚ, VUT FAST, 2009 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/pov09/doc/08.pdf>
- [9] CULEK, Martin. *Biogeografické členění České republiky*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2005. ISBN isbn80-860-6482-4.
- [10] TOLASZ, Radim. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN isbn978-80-86690-26-1.
- [11] Povodí Odry - Stavy a Průtoky. *Povodí Odry* [online]. Ostrava [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.pod.cz/portal/SaP/cz/PC/Mereni.aspx?id=300256551&oid=1>
- [12] JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2007. ISBN isbn978-80-254-0973-2.

## **11. Seznam obrázků, tabulek a grafů**

Obr. 1 ) Situace řešeného území	11
Obr. 2 ) Schéma plošného povrchového odtoku po svahu	14
Obr. 3 ) Vymezení řešeného území	17
Obr. 4 ) Rozbor odtokových poměrů	18
Obr. 5 ) Koryto potoku Sezina	18
Obr. 6 ) Stavy a průtoky na vodním toku Sezina	19
Obr. 7 ) Procentuální zastoupení podle HPJ	21
Obr. 8 ) Rozbor pedologických poměrů z mapy BPEJ	22
Obr. 9 ) Procentuální zastoupení podle HSP	23
Obr. 10 ) Rozbor hydropedologických poměrů z mapy BPEJ	23
Obr. 11 ) Rozbor sklonitostních poměrů	24
Obr. 12 ) Procentuální zastoupení vegetace	25
Obr. 13 ) Rozbor vegetačních poměrů	25
Obr. 14 ) Průměrné hodnoty R-faktoru v MJ.ha <sup>-1</sup> .cm.h <sup>-1</sup> na území ČR	28
Obr. 15 ) K-faktor před návrhem opatření	29
Obr. 16 ) Mapa erozního smyvu před opatřením	32
Obr. 17 ) Situace dílčích povodí	33
Obr. 18 ) Situace navržených organizačních opatření	44
Obr. 19 ) Situace navržených agrotechnických opatření	46
Obr. 20 ) Situace navržených technických opatření	48
Obr. 21 ) Celková situace navržených opatření	49
Obr. 22 ) Erozní smyv po návrhu opatření	51
<b>Tab. 4.2.-1:</b> Charakteristika klimatických poměrů	19
<b>Tab. 4.4.-1:</b> Charakteristika HPJ	20
<b>Tab. 4.4.-2:</b> Procentuální zastoupení půdních jednotek	21
<b>Tab. 4.4.-3:</b> Procentuální zastoupení hydrologických skupin půd	22
<b>Tab. 4.7.-1:</b> Procentuální zastoupení zastoupení kultur	24

<b>Tab. 5.1.3.-1:</b> Hodnoty faktoru K podle HPJ	28
<b>Tab. 5.1.4.-1:</b> Hodnoty exponentu zahrnující vliv sklonu svahu	30
<b>Tab. 5.1.5.-1:</b> Hodnoty faktoru C podle HPJ	31
<b>Tab. 6.1.-1:</b> Vstupní hodnoty pro výpočet povrchového odtoku údolnicí	35
<b>Tab. 6.2.-1:</b> Výstupní hodnoty povrchového odtoku z dílčích povodí	36
<b>Tab. 7.1.-1:</b> Výkaz výměr VENP opatření	42
<b>Tab. 7.1.-2:</b> Výkaz výměr OPAS opatření	43
<b>Tab. 7.2.-1:</b> Výkaz výměr AGT opatření	45
<b>Tab. 7.3.-1:</b> Výkaz výměr SDO opatření	47
<b>Tab. 7.3.-2:</b> Výkaz výměr liniových opatření	48
<b>Tab. 8.-1:</b> Porovnání erozního smyvu před a po návrhu	49
<b>Tab. 8.-2:</b> Změna objemu povodňové vlny	50
<b>Graf 6.2.-1:</b> Časový průběh odtoku z povodí P1, $Q_{100}$	38
<b>Graf 6.2.-2:</b> Časový průběh odtoku z povodí P5, $Q_{100}$	38
<b>Graf 6.2.-3:</b> Časový průběh odtoku z povodí P6, $Q_{100}$	39
<b>Graf 6.2.-4:</b> Časový průběh odtoku z povodí P9, $Q_{100}$	39
<b>Graf 6.2.-5:</b> Časový průběh odtoku z povodí P10, $Q_{100}$	39
<b>Graf 6.2.-6:</b> Časový průběh odtoku z povodí P12, $Q_{100}$	40
<b>Graf 8.-1:</b> Časový průběh odtoku z povodí P1, $Q_{100}$	52
<b>Graf 8.-2:</b> Časový průběh odtoku z povodí P5, $Q_{100}$	52
<b>Graf 8.-3:</b> Časový průběh odtoku z povodí P6, $Q_{100}$	53
<b>Graf 8.-4:</b> Časový průběh odtoku z povodí P9, $Q_{100}$	53
<b>Graf 8.-5:</b> Časový průběh odtoku z povodí P10, $Q_{100}$	53
<b>Graf 8.-6:</b> Časový průběh odtoku z povodí P12, $Q_{100}$	54